



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA REDAMAN HUJAN PADA FREKUENSI C-BAND
DAN KU-BAND UNTUK KOMUNIKASI VSAT-TV PADA
DAERAH TROPIS**

Ervin Nurdiansyah
NRP 2214105001

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**ANALYSIS OF RAIN ATTENUATION IN THE FOR C-
BAND AND KU-BAND VSAT-TV COMMUNICATION FOR
TROPICAL AREAS**

Ervin Nurdiansyah
NRP 2214105001

Supervisors
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technical
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisa Redaman Hujan Pada Frekuensi C-Band dan Ku-Band Untuk komunikasi VSAT TV Pada Daerah Tropis**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Ervin Nurdiansyah
NRP. 2214105001

**ANALISA REDAMAN HUJAN PADA FREKUENSI C-
BAND DAN KU-BAND UNTUK KOMUNIKASI VSAT-TV
PADA DAERAH TROPIS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi dan Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T.
NIP.196109031989031001



ANALISA REDAMAN HUJAN PADA FREKUENSI C-BAND DAN KU-BAND UNTUK KOMUNIKASI VSAT-TV PADA DAERAH TROPIS

Nama : Ervin Nurdiansyah
Pembimbing : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T.

ABSTRAK

Penggunaan satelit untuk berbagai macam komunikasi semakin berkembang dewasa ini salah satunya yaitu teknologi VSAT untuk keperluan TV berbayar yang dinilai sangat strategis. Teknologi VSAT digunakan oleh perusahaan TV berbayar sebagai *backbone* dari jaringan yang mereka tawarkan kepada konsumen. Penggunaan VSAT sebagai alat komunikasi memiliki banyak sekali keuntungan antara lain kemudahan dalam hal instalasi, biaya yang murah dan kemudahan dalam pemeliharaan. Di samping semua keunggulan yang dimiliki oleh VSAT, teknologi VSAT yang menggunakan frekuensi C-Band dan Ku-Band ini memiliki beberapa kekurangan diantaranya yaitu masalah propagasi terutama propagasi yang disebabkan oleh redaman hujan. Dalam Tugas Akhir ini penulis melakukan analisa redaman hujan menggunakan empat model prediksi redaman hujan yaitu model ITU-R P.618-5, model Global Crane, Model SAM, dan model ITU-R modifikasi untuk daerah tropis. Keempat model tersebut dibandingkan dengan pengukuran guna mengetahui model redaman hujan yang mendekati untuk wilayah Surabaya. Dalam tugas akhir ini untuk pengukuran pada kanal Ku-Band menggunakan satelit JCSAT 4B sedangkan untuk pengukuran kanal C-Band menggunakan satelit TELKOM-1 dengan menggunakan VSAT berukuran 0,6 m. Berdasarkan hasil analisa didapatkan model redaman hujan mendekati pengukuran untuk kanal C-band adalah model Global Crane dengan persen error sebesar 73,1 %. Sedangkan untuk kanal Ku-band adalah model ITU-R Modifikasi untuk daerah tropis dengan persen error sebesar 22,4 %.

Kata Kunci : Redaman Hujan, Surabaya, ITU-R P.618-5, Global Crane, SAM, ITU-R modifikasi untuk daerah tropis, C-band, Ku-band.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

ANALYSIS OF RAIN ATTENUATION IN THE FOR C-BAND AND KU-BAND VSAT-TV COMMUNICATION FOR TROPICAL AREAS

Name : Ervin Nurdiansyah
Supervisor : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T.

ABSTRACT

The use of satellites for a wide variety of communications is growing these days one of them is VSAT technology for pay-TV purposes are considered to be very strategic. VSAT technology is used by pay-TV companies as the backbone of the network they offer to consumers. VSAT usage as a communication tool has many advantages such as ease of installation, low cost and ease of maintenance. In addition to all the advantages possessed by VSAT, VSAT technology which uses frequency C-Band and Ku-Band has several shortcomings including propagation of the issue of propagation mainly caused by rain attenuation. In this final project analysis uses four rain attenuation prediction model is a model of rain attenuation ITU-R P.618-5, Global Crane model, Model SAM, and the ITU-R modification to the tropics. The fourth model was compared with measurements to determine the model of rain attenuation close to the Surabaya area. In this final task for measurements in Ku-Band channels via satellite JCSAT 4B while for the measurement of C-Band channels using TELKOM-1 satellite using VSAT measuring 0.6 m. Based on the analysis results obtained model of rain attenuation measurement approach for C-band channels is Global Crane model with the percent error of 73.1%. As for the Ku-band channels is the ITU-R Modifications to the tropics with a percent error of 22.4%.

Key word : Rain Attenuation, Surabaya, ITU-R P.618-5, Global Crane, SAM, and ITU-R modification to the tropics, C-band, Ku-band.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku Tugas Akhir ini yang berjudul :

Analisa Redaman Hujan Pada Frekuensi C-Band dan Ku-Band Untuk Komunikasi VSAT-TV Pada Daerah Tropis

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata-1 di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama pengerjaan Tugas Akhir dan penyusunan buku ini penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terimakasih kepada : Keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa. Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia memberikan ilmu, dukungan dan motivasi sehingga dapat terealisasinya tugas akhir ini. Teman-teman Telekomunikasi Multimedia Lintas Jalur terimakasih atas kerjasama dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk pengembangan di masa yang akan datang.

Besar harapan penulis bahwa apa yang telah dituangkan dalam buku ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Latar Belakang Komonikasi Satelit	5
2.2 Prinsip Kerja Sistem Komunikasi Satelit.....	6
2.3 Orbit Satelit	7
2.4 Sistem Komunikasi VSAT	9
2.5 Komponen Sistem Komunikasi VSAT	10
2.5.1 Satelit	10
2.5.2 Stasiun Bumi.....	12
2.6 Alokasi Frekuensi Satelit.....	13
2.7 Propagasi Gelombang.....	14
2.8 Redaman Hujan	15
2.8.1 Redaman Hujan pada Lintasan Lurus	15
2.8.2 Model Redaman Hujan	16
2.9 Redaman Awan[7]	23
2.10 Redaman Gas Pembentuk Atmosfer[8]	24
2.11 Link Budget	26
2.11.1 Link Intermediate Data Rate (IDR)	27
2.11.2 Gain Antena	28
2.11.3 EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)	29
2.11.4 Redaman Ruang Bebas (Free Space Loss).....	29
2.11.5 Figure of Merit/Gain to Temperature (G/T).....	30
2.11.6 Carrier to Noise Ratio (C/N)	30
2.11.7 Energy per bit to the spectral noise density (Eb/No) ..	31
2.11.8 Bit Error Rate (BER)	31
2.11.9 Link Availability.....	32

2.11.10	Margin	32
BAB III	METODE PENGUKURAN	33
3.1	Gambaran Awal	33
3.2	Arsitektur Pengukuran.....	34
3.3	Parameter Teknis Pengukuran.....	34
3.4	Perangkat Pengukuran.....	35
3.5	Skenario Pengukuran.....	37
3.6	Skenario Pengolahan Data	39
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1	Data Pengukuran Ku-Band.....	41
4.2	Analisis Data Pengukuran Ku-Band.....	42
4.2.1	Perhitungan Redaman Hujan Data Pengukuran Ku-band	42
4.3	Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal Ku-band.....	47
4.3.1	Model ITU-R P.618-5	48
4.3.2	Model Global Crane	49
4.3.3	Model Simple Attenuation Model (SAM).....	51
4.3.4	Model ITU-R Modifikasi untuk Daerah Tropis.....	53
4.4	Perbandingan Model Redaman Hujan Kanal Ku-Band.....	55
4.5	Data Pengukuran C-Band.....	57
4.6	Analisis Data Pengukuran C-Band.....	58
4.6.1	Perhitungan Redaman Hujan Data Pengukuran C-Band	58
4.7	Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal C-Band.....	59
4.7.1	Model ITU-R P.618-5	60
4.7.2	Model Global Crane	60
4.7.3	Simple Attenuation Model (SAM)	61
4.7.4	ITU-R Modifikasi.....	61
4.8	Perbandingan Model Redaman Hujan Kanal C-Band.....	61
BAB V	PENUTUP	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		67
Lampiran A Proposal Tugas Akhir.....		69
Lampiran B Nilai Perhitungan Model Redaman Hujan.....		71
Lampiran C Koefisien Regresi ITU-R P.838		77
Lampiran D Koefisien Global Crane		78
Lampiran E Total Columnar Content of Liquid Water		79
RIWAYAT HIDUP		81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur Komunikasi Satelit	6
Gambar 2.2 Tipe - tipe Orbit Satelit [1]	9
Gambar 2.3 Coverage Area Satelit Telkom 1.[5].....	11
Gambar 2.4 Coverage Area JCSAT 4B [6]	12
Gambar 2.5 Geometri Lintasan Redaman Hujan ITU-R.....	17
Gambar 3.1 Arsitektur Pengukuran Kualitas (C/N).	34
Gambar 3.2 Parameter Teknis Pengukuran	35
Gambar 3.3 Antena Parabola	35
Gambar 3.4 Low Noise Block (LNB)	36
Gambar 3.5 Set Top Box / Receiver Digital	37
Gambar 3.6 Kabel Coaxial 75 Ω	37
Gambar 3.7 Flowchart Pengukuran (a) kondisi hujan (b) kondisi tidak hujan.....	38
Gambar 3.8 Flowchart Pengolahan Data Hasil Pengukuran	39
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Model Redaman Hujan Kanal Ku-Band.	56
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Model Redaman Hujan Kanal C-Band.....	62

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Satelit TELKOM 1 [5].....	11
Tabel 2.2 Spesifikasi Satelit JCSAT 4B [6].....	12
Tabel 2.3 Pita Frekuensi [1].....	14
Tabel 4.1 Data Pengukuran Kanal Ku-Band.....	42
Tabel 4.2 Data Parameter Perhitungan Link Budget Kanal Ku-Band...	43
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Redaman Hujan Kanal Ku-Band	47
Tabel 4.4 Parameter Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal Ku-band.....	48
Tabel 4.5 Perhitungan Redaman Hujan Model ITU-R P.618-5 Kanal Ku-Band.	49
Tabel 4.6 Perhitungan Redaman Hujan Model Global Crane Kanal Ku-Band.	51
Tabel 4.7 Perhitungan Redaman Hujan Simple Attenuation Model Kanal Ku-Band.	52
Tabel 4.8 Perhitungan Redaman Hujan ITU-R Modifikasi Kanal Ku-Band.	55
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Kanal Ku-Band.	55
Tabel 4.10 Perbandingan antara Hasil Pengukuran dengan Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal Ku-Band.	57
Tabel 4.11 Data Pengukuran Kanal C-Band.	58
Tabel 4.12 Data Parameter Perhitungan Link Budget C-Band.	59
Tabel 4.13 Redaman Hujan Pengukuran Kanal C-Band.	59
Tabel 4.14 Parameter Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal C-Band.	60
Tabel 4.15 Perhitungan Redaman Hujan ITU-R P.618-5 kanal C-Band.	60
Tabel 4.16 Perhitungan Redaman Hujan Global Crane kanal C-Band.	60
Tabel 4.17 Perhitungan Redaman Hujan SAM kanal C-Band.	61
Tabel 4.18 Perhitungan Redaman Hujan ITU-R Modifikasi kanal C-Band.	61
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Kanal C-Band.	62
Tabel 4.20 Perbandingan antara Hasil Pengukuran dengan Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal C-Band.....	73

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi komunikasi yang semakin pesat berpengaruh terhadap kehidupan manusia, diantaranya yaitu perkembangan teknologi broadcasting khususnya tv berbayar. Dalam penggunaan tv berbayar ini terdapat berbagai macam teknologi yang diterapkan salah satunya yaitu dengan menggunakan teknologi VSAT untuk jaringan tv berbayar. Teknologi VSAT ini dipilih karena memiliki berbagai macam keuntungan diantaranya penggelaran jaringan yang mudah karena menggunakan satelit yang memiliki jangkauan yang luas yaitu hampir setengah permukaan bumi, kemudahan dalam instalasi perangkat penerima di rumah-rumah, kemudahan dalam pemeliharaan dan masih banyak lagi. Selain dari semua keuntungan yang dimiliki oleh teknologi VSAT tersebut, terdapat juga kerugian dalam penggunaan teknologi VSAT tersebut beberapa kerugian tersebut terutama menyangkut masalah propagasi yaitu redaman hujan.

Dalam penggunaan teknologi VSAT untuk tv berbayar ini frekuensi yang dipakai di Indonesia adalah C-Band (4 s/d 6 GHz) dan Ku-band (11 s/d 14 GHz) [1], di dalam sistem komunikasi VSAT ini diperlukan pengkajian cermat karena sangat rentan, terutama terhadap perubahan kondisi atmosfer khususnya hujan, dimana ketika semakin tinggi intensitas hujan maka akan ada aspek redaman hujan yang diperoleh dimana daya emisi yang diterima akan teredam, suhu derau sistem meningkat di sisi penerima, dan *link-availability* semakin menurun. Dalam tugas akhir ini penulis mengkaji pemakaian frekuensi C-band dan Ku-Band untuk sistem komunikasi VSAT untuk tv berbayar di wilayah Surabaya. Pengkajian difokuskan pada perhitungan nilai redaman hujan menggunakan 4 (empat) model, yaitu model ITU-R P.618-5[2], model Global Crane[3], Model *Simple Attenuation Model* (SAM)[4], dan model ITU-R modifikasi untuk daerah tropis[5] yang kemudian dibandingkan dengan data pengukuran. Data pengukuran didapatkan dari pengukuran yang dilakukan secara langsung oleh penulis menggunakan data yang didapatkan dari *set top box* tv berbayar. Sedangkan data curah hujan yang digunakan adalah data yang didapatkan dari Dinas Operasi Sub Dinas Meteo Pangkalan Udara Surabaya. Dengan melihat hasil redaman hujan yang terjadi kemudian dilakukan perhitungan persen error

terhadap hasil pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui model redaman hujan yang dapat digunakan untuk perhitungan wilayah Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana cara melakukan pengukuran redaman hujan pada VSAT tv berbayar.
- b. Perangkat dan aplikasi apa yang diperlukan untuk melakukan pengukuran dan analisa.
- c. Bagaimana perhitungan redaman hujan menggunakan model prediksi redaman hujan.
- d. Pemodelan apa yang cocok untuk menganalisa dan meramalkan redaman hujan untuk wilayah Surabaya.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

- a. Pengukuran dilakukan secara manual dengan menggunakan *set top box* tv berbayar.
- b. Pengukuran dilakukan untuk operator tv nasional untuk frekuensi C-band.
- c. Pengukuran dilakukan untuk operator tv berbayar Big TV untuk frekuensi Ku-band.
- d. Pengukuran dilakukan di satu lokasi di kota Surabaya dan dilakukan pada sisi penerima (*downlink*).
- e. Menggunakan 4 (empat) model prediksi redaman hujan yaitu model ITU-R P.618-5[2], model Global Crane[3], Model SAM[4], dan model ITU-R modifikasi untuk daerah tropis[5].
- f. Data curah hujan didapatkan dari Dinas Operasi Sub Dinas Meteo Pangkalan Udara Surabaya.
- g. Tidak membahas mengenai setting VSAT.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah

- a. Melakukan pengukuran dan menganalisa redaman hujan frekuensi C-band dan Ku-band untuk wilayah Surabaya.
- b. Dapat menentukan pemodelan yang cocok diterapkan untuk daerah tropis khususnya wilayah Surabaya.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam tugas akhir ini dibuat berdasarkan beberapa metodologi, dimana metodologi tersebut menjadi dasar dalam pengerjaan tugas akhir, berikut adalah metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini :

a. Metode

Tahap awal sebelum melakukan pengerjaan Tugas Akhir adalah dengan mempelajari teori-teori, metode pengumpulan data, metode perhitungan redaman hujan yang akan digunakan.

b. Pengambilan Data

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini data diambil secara langsung dilapangan, dengan waktu pengumpulan data antara bulan Maret 2016 – bulan Agustus 2016. Waktu pengambilan data dilakukan pada saat kondisi hujan dan tidak hujan.

c. Perhitungan

Setelah data terkumpul dilakukan perhitungan model redaman hujan dengan menggunakan model ITU-R P.168-5, Global Crane, SAM, ITU-R modifikasi dan hasil pengukuran secara langsung.

d. Analisa

Setelah didapatkan hasil perhitungan maka dapat dilakukan analisis hasil Tugas Akhir dimana nanti akan diketahui model redaman hujan yang cocok digunakan untuk wilayah Surabaya. Data yang didapatkan akan digambarkan melalui grafik dimana untuk mempermudah perbandingan antar penggunaan model redaman hujan.

1.6 Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini akan dipaparkan terkait latar belakang pengerjaan tugas akhir, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan tugas akhir. Dimana bab ini ditulis agar pembaca mengerti arah pengerjaan tugas akhir ini.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini akan dibahas tentang gambaran umum mengenai dasar-dasar komunikasi satelit seperti frekuensi dan spesifikasi satelit, model-model redaman hujan yang akan menunjang

dalam mengetahui redaman hujan yang digunakan di wilayah Surabaya.

Bab III Metode Pengukuran

Bab ini berisi langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir ini berupa tahapan pengerjaan tugas akhir, waktu pengumpulan data , dan teknik pengumpulan data.

Bab IV Analisis dan Pembahasan

Pada bab ini berisi analisa dari sistem pengukuran dan perhitungan redaman hujan yang selanjutnya dilakukan perhitungan dan simulasi analisa link budget terhadap link komunikasi satelit.

Bab V Penutup

Pada bab ini akan dipaparkan kesimpulan dari pengerjaan tugas akhir ini dan sekiranya saran apa saja yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan dan pemanfaatan hasil dari tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan konsep dan teori yang menjadi landasan pembuatan Tugas Akhir. Dasar teori yang dimaksud meliputi konsep sistem komunikasi satelit, satelit yang digunakan dalam pengukuran, dan model redaman hujan. Data yang didapat kemudian diolah menggunakan *microsoft excel* hasil akhir berupa grafik dan tabel.

2.1 Latar Belakang Komonikasi Satelit

Sistem komunikasi dengan menggunakan satelit merupakan salah satu alternatif untuk komunikasi jarak jauh yang tepat digunakan di Indonesia. Sistem komunikasi satelit merupakan teknik akses yang sangat menunjang dalam perkembangan dunia telekomunikasi. Komunikasi satelit tidak memperhitungkan jarak stasiun pemancar dan penerima serta kondisi geografis wilayah, seperti pada sistem komunikasi lainnya. Pada dasarnya satelit memiliki fungsi sebagai *repeater* (penguat) yang merupakan stasiun pengulang. Satelit komunikasi adalah sebuah pesawat ruang angkasa yang ditempatkan pada orbit di sekeliling bumi dan di dalamnya terdapat peralatan-peralatan penerima dan pemancar gelombang mikro yang mampu me-*relay* (menerima dan memancarkan kembali) sinyal dari satu titik ke titik lain di bumi. Frekuensi yang digunakan dalam sistem komunikasi satelit VSAT yaitu kanal (*C-band*) dan kanal (*ku-band*). *C-band* memiliki daerah frekuensi 4 - 6 GHz dan *ku-band* pada frekuensi 12 - 14 GHz. Frekuensi 4 GHz pada *C-band* dan 12 GHz pada *ku-band* adalah frekuensi untuk hubungan satelit ke stasiun bumi yang dituju (*downlink*), sedangkan frekuensi 6 GHz pada *C-band* dan 14 GHz pada *ku-band* merupakan frekuensi untuk hubungan dari stasiun bumi ke satelit (*uplink*).

Sistem komunikasi satelit merupakan sistem komunikasi yang banyak digunakan dikarenakan kemudahan dari segi instalasi perangkatnya dibandingkan dengan sistem komunikasi yang lain. Sistem komunikasi satelit adalah suatu sistem komunikasi dengan media transmisi sinyal yaitu gelombang mikro, hubungan suatu sistem komunikasi dengan memanfaatkan satelit sebagai *repeater* tunggal (pengulang), sehingga hubungan komunikasi dapat dilakukan anatar user yang satu dengan user yang lainnya.

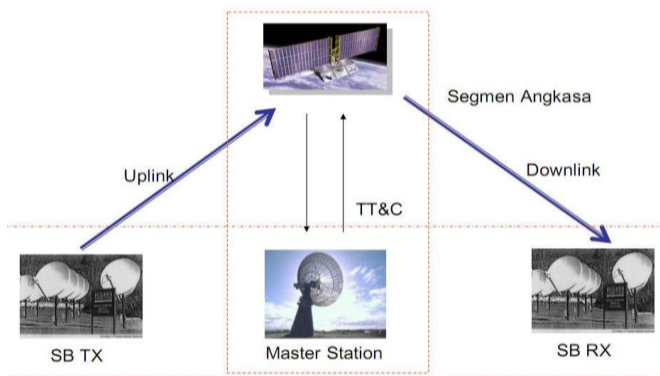
Berdasarkan letaknya, satelit dan lintasannya berada pada lintasan geostasioner yang berada pada ketinggian ± 36.000 Km di atas permukaan bumi dengan kecepatan satelit mengelilingi bumi sama dengan perputaran bumi pada sumbunya. Dengan posisi satelit sebagai *repeater* yang letaknya cukup tinggi, memberikan keuntungan dan kelebihan dibandingkan sistem komunikasi terrestrial lainnya, keuntungan tersebut diantaranya adalah cakupan yang luas sehingga sisi *ground segment* dapat ditempatkan dimana saja, hal ini menyebabkan pancaran sinyal dapat menjangkau hampir seluruh permukaan bumi, terkecuali wilayah kutub.

2.2 Prinsip Kerja Sistem Komunikasi Satelit

Satelit pada dasarnya berfungsi sebagai *repeater* (pengulang) yang diletakan di ketinggian tertentu sebagai stasiun pengulang. Secara umum komunikasi satelit terdiri dari dua bagian, yaitu :

- Space segment* yang terdiri dari satelit dan stasiun bumi.
- Earth segment / Ground segment* (GS) yang terdiri dari sistem perangkat pemancar dan penerima dari suatu sistem komunikasi satelit.

Bagian dari *space segment* berorientasi pada proses pengendalian dari satelit baik yang dikendalikan yaitu satelit dan bagian pengendali yaitu *Master Control*. Sedangkan GS berorientasi terhadap pengguna dari satelit tersebut. Pembagian sistem komunikasi tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arsitektur Komunikasi Satelit

Berdasarkan pembagian fungsi tersebut, *space segment* yang terdiri dari satelit dan *master control* merupakan satu kesatuan, dimana *master control* berperan sebagai pengendali utama dari satelit yang digunakan supaya tetap berada dalam kondisi yang baik dan sehingga dapat beroperasi sesuai dengan yang telah direncanakan. Proses yang dilakukan oleh *master control* untuk menjaga agar satelit dalam kondisi yang baik, diantaranya adalah :

- a. *Telemetry*, merupakan data – data yang berisi informasi kondisi satelit, baik posisi maupun kualitas respon satelit.
- b. *Tracking Command*, dalam proses ini dilakukan pengarahan antenna *master control* agar dapat mengikuti posisi dari satelit yang digunakan.
- c. *Ranging*, merupakan proses pengukuran jarak satelit terhadap permukaan bumi dengan *master control* sebagai acuan jarak terhadap satelit.

2.3 Orbit Satelit

Satelit diorbitkan dengan ketinggian bermacam-macam tergantung dari kebutuhannya. Orbitnya sinkron dengan permukaan bumi, sehingga seolah-olah satelit ini diam ditempatnya. Inilah yang disebut dengan geostationer orbit. Ada beberapa jenis orbit satelit yaitu :

a. Orbit Stationer

Merupakan sebuah orbit yang menempatkan satelit untuk terus tetap berada pada posisinya mengacu pada sebuah titik atau lokasi. Satelit yang ditempatkan pada orbit stationer kebanyakan bergerak dari arah timur ke barat mengikuti pergerakan rotasi bumi. Pada orbit stationer ini dibedakan berdasarkan ketinggiannya menjadi :

1) *Low Earth Orbit (LEO)*

Satelit jenis LEO merupakan satelit yang mempunyai ketinggian 320-800 km diatas permukaan bumi. Karena orbit mereka yang sangat dekat dengan bumi, satelit LEO harus mempunyai kecepatan yang sangat tinggi supaya tidak terlempar ke atmosfer. Kecepatan edar satelit LEO mencapai 27.359 km/h untuk mengitari bumi dalam waktu 90 menit. Aplikasi dari satelit jenis LEO ini biasanya dipakai pada *system remote sensing* dan peramalan cuaca karena jarak mereka dengan permukaan bumi yang tidak terlalu jauh. Pada masa sekarang satelit LEO yang mengorbit digunakan untuk aplikasi

komunikasi selular. Karena jarak yang tidak terlalu jauh dan biaya murah, satelit LEO sangat banyak diluncurkan untuk berbagai macam aplikasi. Akibatnya bahwa jumlah satelit LEO sudah sangat padat, tercatat sekarang ada 8000 lebih satelit yang mengitari bumi pada orbit LEO.

2) *Medium Earth Orbit (MEO)*

Satelit pada orbit ini merupakan satelit yang mempunyai ketinggian satelit di atas 1000 km dengan aplikasi dan jenis yang sama pada orbit LEO. Namun karena jaraknya yang sudah cukup jauh jumlah satelit pada orbit MEO tidaklah sebanyak pada orbit LEO. Satelit jenis MEO ini mempunyai delay sebesar 60-80 ms.

3) *Geostationery Earth Orbit (GEO)*

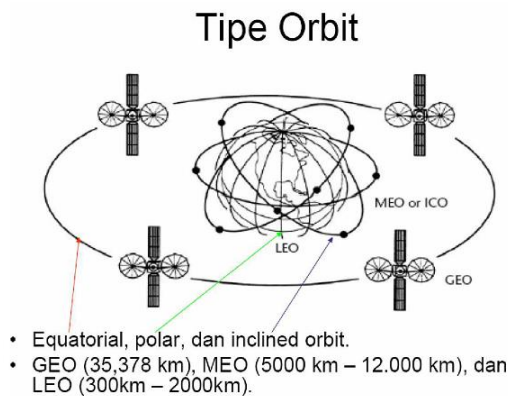
Satelit GEO merupakan sebuah satelit yang ditempatkan dalam orbit yang posisi satelit tetap dengan posisi suatu titik di bumi. Karena mempunyai posisi yang tetap maka waktu edarnya pun sama dengan rotasi bumi. Posisi orbit satelit GEO sejajar dengan garis khatulistiwa atau mempunyai titik lintang nol derajat. Satelit GEO mempunyai jarak sebesar ± 36000 km dari permukaan bumi. Pada satelit dengan orbit GEO inilah yang akan banyak dibahas dan dijadikan sebagai contoh perhitungan soal. Keuntungan satelit orbit GEO ini salah satunya adalah dalam *tracking* antenna pengendalian dari suatu stasiun bumi tidak perlu mengikuti pergerakan satelitnya yang tidak sama dengan periode bumi berputar. Kerugian dari satelit orbit GEO adalah karena jarak yang sangat jauh dari permukaan bumi maka daya pancar sinyal haruslah tinggi dan sering terjadi *delay* yang cukup signifikan. Cakupan satelit GEO pun sebenarnya tidak mencakup semua posisi dipermukaan bumi. Lokasi yang berada di kutub utara dan selatan tidak dapat terjangkau dengan menggunakan satelit GEO karena *foot print*nya terbatas.

b. Orbit Polar

Satelit yang mengorbit pada orbit polar merupakan satelit yang mempunyai inklinasi (penyimpangan) sebesar 90° dari orbit geostationer. Atau boleh dikatakan bahwa satelit ini mengitari bumi dari arah selatan ke utara. Karena arah perputarannya yang tidak sinkron dengan arah rotasi bumi maka satelit jenis polar ini jarang digunakan.

c. Orbit Elliptical

Satelit dengan orbit elips merupakan satelit yang mengorbit dengan bentuk orbit yang elips terhadap bumi. Dengan bentuk orbit yang elips tersebut menghasilkan suatu jarak yang tidak sama (sinkron) pada setiap posisi dengan permukaan bumi. Pada satelit dengan orbit elliptical maka akan terjadi suatu posisi terjauh dari permukaan bumi dan suatu posisi terdekat dari permukaan bumi. Posisi terjauh dari permukaan bumi dinamakan dengan posisi *apogee*. Posisi terdekat dengan permukaan bumi disebut dengan posisi *perigee*.



Gambar 2.2 Tipe - tipe Orbit Satelit [1]

2.4 Sistem Komunikasi VSAT

Very Small Aperture Terminal (VSAT) merupakan jaringan komunikasi satelit yang menggunakan antenna dengan diameter antara 1 – 3 meter pada stasiun *remote*, dan 4,5 meter pada stasiun *hub*. VSAT pada stasiun *hub* dilengkapi dengan *Master Control Center* sebagai pengatur jaringan, hal ini diperlukan agar komunikasi antar stasiun *remote* dapat dilakukan.

Pemasangan perangkat untuk jaringan VSAT lebih mudah, efektif dan fleksibel dalam pengembangan jaringannya. Penggunaan satelit GEO menyebabkan jaringan komunikasi VSAT mempunyai jangkauan yang luas, sehingga biaya operasional menjadi rendah. Dengan berbagai kelebihan tersebut komunikasi satelit dengan menggunakan VSAT dapat dijadikan solusi untuk memenuhi kebutuhan komunikasi data yang semakin meningkat saat ini.

2.5 Komponen Sistem Komunikasi VSAT

Komponen dari sistem komunikasi VSAT untuk komunikasi satelit ini terdiri dari dua unsur dasar yaitu *space segment* dan *ground segment*, dimana *space segment* adalah satelit itu sendiri, sedangkan untuk *ground segment* pada setiap *remote station* sendiri dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian *indoor* dan *outdoor unit*. *Indoor unit* merupakan perangkat yang terletak pada sisi dalam ruangan stasiun bumi. Sedangkan *Outdoor unit* merupakan perangkat yang terletak pada sisi luar ruangan stasiun bumi.

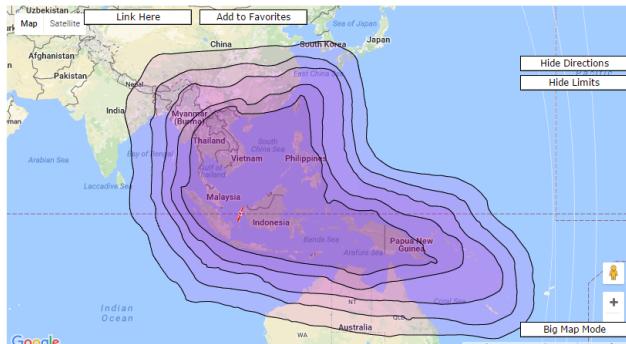
2.5.1 Satelit

Satelit merupakan suatu *repeater* yang berfungsi untuk menguatkan sinyal dari stasiun bumi dan memancarkannya kembali dengan frekuensi yang berbeda ke stasiun bumi penerima. Jalur pada setiap kanal dari antenna penerima ke antena pemancar didalam satelit disebut transponder satelit. Selain untuk menguatkan sinyal, transponder juga berfungsi sebagai isolasi terhadap kanal RF frekuensi lain.

Untuk memberikan daya keluaran yang baik, transponder menggunakan suatu sistem penguat seperti SSPA (*Solid State Power Amplifier*) atau TWTA (*Travelling Wave Tube Amplifier*). Dalam penulisan tugas akhir ini satelit akan digunakan dua satelit yang berbeda yaitu satelit TELKOM 1 yang beroperasi di kanal *C-Band* dan satelit JCSAT 4B yang beroperasi di kanal *Ku-Band*.

- Satelit TELKOM 1

Salah satu satelit komunikasi yang memiliki transponder *C - Band* adalah Satelit TELKOM 1. Satelit TELKOM 1 dibuat oleh perusahaan asal Amerika Serikat Lockheed Martin Commercial Space System yang berada di Newton, Amerika. Satelit ini memiliki 24 transponder *C - Band* dan 12 transponder external. Satelit Telkom 1 berada pada 108° BT yang akan mencakup seluruh wilayah Indonesia, Asia Tenggara, dan Australia bagian utara. Wilayah *coverage* Telkom 1 ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini :



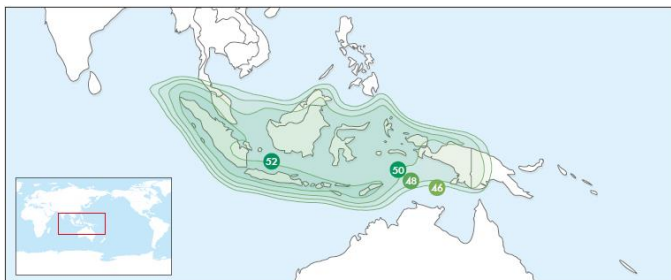
Gambar 2.3 Coverage Area Satelit Telkom 1.[5]

Tabel 2.1 Spesifikasi Satelit TELKOM 1 [5]

Parameter	TELKOM 1
Pabrik Pembuat	Lockhed Martin
Launching	4 Agustus 1999
Lokasi Orbit	108°BT
Band Frekuensi	C - Band
EIRP	39 dBW
Bandwidth	36 MHz
C – Band Uplink	3,7 – 4,2 GHz
C - Band Downlink	5,9 – 6,4 GHz

- Satelit JCSAT 4B

Satelit JCSAT 4B merupakan salah satu satelit yang beroperasi pada frekuensi *Ku - Band*. Satelit JCSAT 4 B dibuat oleh perusahaan asal Amerika Serikat Lockheed Martin Commercial Space System yang berada di Newton, Amerika. Satelit ini memiliki 44 transponder *Ku – Band*. Satelit JCSAT 4B berada pada 124° BT yang dapat menjangkau wilayah Asia Tenggara dan Oceania. Wilayah *coverage* JCSAT 4B ditunjukkan pada gambar 2.4 di bawah ini :



Gambar 2.4 Coverage Area JCSAT 4B [6]

Tabel 2.2 Spesifikasi Satelit JCSAT 4B [6]

Parameter	JCSAT 4B
Pabrik Pembuat	Lockhed Martin
Launching	15 Juni 2012
Lokasi Orbit	124°BT
Band Frekuensi	Ku - Band
EIRP	52 dBW
Bandwidth	36 MHz
Ku – Band Uplink	11,7 – 12,7 GHz
Ku - Band Downlink	14 – 14,5 GHz

2.5.2 Stasiun Bumi

Stasiun bumi adalah terminal yang dapat berfungsi pada dua arah komunikasi baik sebagai *transmitter* maupun *receiver*, tetapi dalam penulisan tugas akhir ini stasiun bumi yang digunakan hanya berfungsi satu arah saja yaitu hanya sebagai *receiver*. Perangkat *ground segment* pada stasiun bumi ini berdasarkan penempatannya dibedakan menjadi dua jenis yaitu *indoor* dan *outdoor unit*.

- *Indoor unit*
Perangkat ini diletakan di sisi dalam ruangan, seperti :
 1. *Modem* dan *multiplexer*.
 2. *Power Supply*.
- *Outdoor unit*
Perangkat ini terletak di sisi luar ruangan, seperti :

1. *Up / Down converter.*
2. *SSPA (Solid State Power Amplifier)* atau *HPA (High Power Amplifier)*
3. Antena yang merupakan perangkat untuk mengirim dan menerima sinyal dari atau ke satelit agar pancaran gelombang tepat terarah kepada satelit tujuan.
4. *LNA / LNB* merupakan perangkat dari sisi *receiver* yang berguna sebagai penguat sinyal yang diterima pada stasiun bumi.

2.6 Alokasi Frekuensi Satelit

Komunikasi satelit memakai gelombang elektromagnetik untuk membawa informasi dari *ground* ke *space*. Rentang frekuensi yang diperuntukkan untuk sebuah aplikasi tertentu disebut sebuah frekuensi *band* (pita frekuensi). Sedangkan frekuensi dari nol sampai tak terhingga disebut *spectrum*. Badan yang mengatur alokasi frekuensi untuk suatu pemakaian tertentu adalah *International Telecommunication Union* (ITU), yakni sebuah badan khusus di PBB yang berkedudukan di Genewa, Swiss. Frekuensi dari 0 sampai 100 MHz, dipergunakan untuk bermacam-macam layanan penyiaran (*broadcasting services*) dan tidak digunakan untuk komunikasi satelit (*space communication*). Untuk komunikasi satelit dipergunakan frekuensi radio diatas 100 MHz yakni VHF (*Very High frequency*), UHF (*Ultra High Frequency*), SHF (*Super High Frequency*), dan EHF (*Extremely High Frequency*). SHF dibagi menjadi *subband* yang ditandai dengan huruf L, S, C, X, Ku, dan Ka (Ka sering juga dimasukkan ke EHF). Selain itu adalah EHF, V, dan Q *band*. Umumnya yang digunakan adalah Ku-band ke bawah. Hal ini disebabkan biaya perangkat yang rendah dan karakteristik propagasi gelombang yang baik. Sedangkan Ka,V, dan Q-band sangat potensial digunakan untuk transmisi *very high bandwidth (broadband)* dengan memakai antena penerima yang kecil (<0,6m). Dalam penerapan transmisi dengan Ka, V, dan Q-band ada kesulitan, yaitu masalah *rain attenuation* yang besar dan biaya perangkat yang mahal.[1]

Tabel 2.3 Pita Frekuensi [1]

Rentang Frekuensi (GHz)	Band
0,1 – 0,3	VHF
0,3 – 1	UHF
1 – 2	L
2 – 4	S
4 – 8	C
8 – 12	X
12 – 18	Ku
18 – 27	K
27 – 40	Ka
40 – 75	V
75 – 110	W
110 – 300	Mm
300 -3000	μm

Pada awalnya sistem komunikasi satelit yang menggunakan frekuensi C-Band (4 - 8 GHz) mengakibatkan terjadinya interferensi dengan *link microwave terrestrial* (4 - 6 GHz). Satelit generasi baru menggunakan frekuensi Ka-Band (17 - 30GHz). Frekuensi yang lebih tinggi mengalami penghamburan (*scattering*) yang lebih tinggi pula atau memiliki redaman ruang bebas lebih besar dibandingkan dengan frekuensi yang lebih rendah. Untuk mendapatkan frekuensi *uplink* yang sesuai dibutuhkan pengarah *control* yang baik dari *side lobe antenna*, pengaturan diameter antena dan penguatan daya pada stasiun bumi, oleh karena itu stasiun bumi memiliki aset pemancaran (daya primer tak terbatas) yang lebih baik daripada satelit.

2.7 Propagasi Gelombang

Perambatan gelombang elektromagnetik di ruang bebas sangat dipengaruhi oleh frekuensi gelombang tersebut. Hubungna antara frekuensi dan panjang gelombang dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

Dimana :

λ	= Panjang gelombang (m)
c	= Kecepatan cahaya (3×10^8 m/dt)
f	= Frekuensi (Hz)

propagasi gelombang radio yang melalui hambatan berupa hujan, kabut, dan salju akan mengalami pelemahan sinyal, hal ini diakibatkan karena adanya penyerapan daya dielektrik yang disebabkan oleh air. Selain itu pula terdapat rugi – rugi pada saat gelombang transmisi langsung akibat dari adanya penghamburan energy keluar oleh titik – titik hujan. Hal ini terjadi karena perambatan gelombang tersebut harus mampu menembus lapisan yang ada di atmosfer terutama di lapisan ionosfer yang terdiri dari elektron -elektron yang bersifat menyerap frekuensi.

2.8 Redaman Hujan

Butiran hujan menyebabkan pengaruh pada gelombang elektromagnetik yang melintas. Semakin besar curah hujan yang melintas maka redaman pada gelombang akan semakin besar.

2.8.1 Redaman Hujan pada Lintasan Lurus

Hujan telah lama dikenali sebagai salah satu penyebab penurunan sinyal pada perkembangan gelombang radio dengan menggunakan satelit bumi, khususnya dalam penggunaan frekuensi tinggi. Efek hujan menjadi sangat sulit untuk diteliti pada panjang gelombang yang mendekati ukuran titik hujan yang mana tergantung pada jenis curah hujannya. Penurunan kekuatan sinyal informasi selama pemancaran sepanjang lintasan satelit bumi juga dipengaruhi oleh uap air, awan, dan oksigen di sepanjang lintasan keduanya terjadi proses penghamburan dan penyerapan. Efek ini akan terus meningkat dengan meningkatnya frekuensi operasi dan penurunan sudut elevasi. Terjadinya aliran fluktuasi yang besar pada sinyal gelombang radio selama pemancaran pada lintasan lurus berpatokan pada efek *scintillation* yang disebabkan oleh perubahan pada indeks bias atmosfer. Hal ini akan meningkat dengan penurunan sudut elevasi, dan normalnya didasarkan pada lintasan lurus dengan sudut elevasi di bawah 10° . Curah hujan dijadikan sebagai redaman utama, ini penting untuk menghitung banyaknya redaman lintasan lurus yang disebabkan curah hujan. Untuk perkiraan redaman selama lintasan, redaman spesifik pada setiap titik sepanjang lintasan dibutuhkan. Redaman spesifik secara teori berhubungan dengan rata-rata hujan dengan bentuk hujan, dan tergantung

pada jenis curah hujan yang terjadi. Pendekatan secara umum untuk menghitung adalah sebuah prosedur empiris yang didasarkan pada hubungan pendekatan antara dengan rata-rata hujan R.

$$\gamma R = kR^\alpha \quad (2.2)$$

Dimana k dan α bergantung pada frekuensi dan struktur kecil hujan dimana menyangkut bentuk distribusi ukuran dan suhu hujan. Nilai-nilai k dan α tersedia dalam bentuk tabel pada lampiran A, dimana *subscripts* h berarti polarisasi horizontal dan v adalah polarisasi vertikal. Jika R diketahui sepanjang lintasan L, kita dapat menghitung secara sederhana redaman total dengan menggabungkan lewat redaman spesifik :

$$A = \int_0^L \gamma R \, dL \quad (2.3)$$

Persamaan di atas adalah merupakan formula dasar untuk menghitung redaman hujan dan bergantung juga pada tinggi hujan dan sudut elevasi.

2.8.2 Model Redaman Hujan

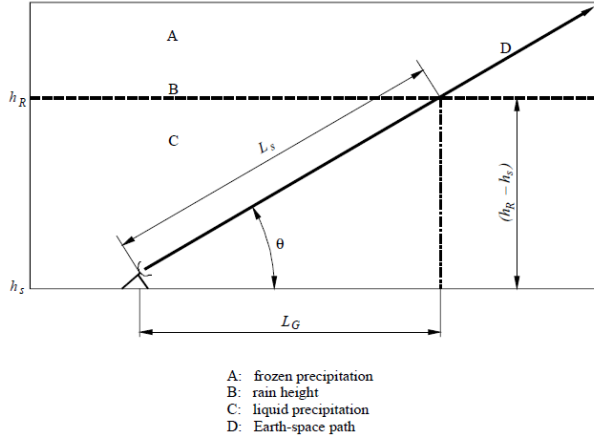
Dalam perancangan suatu sistem komunikasi redaman hujan menjadi faktor yang sangat penting untuk mengetahui analisa kerja sistem komunikasi radio. Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan beberapa model prediksi redaman hujan. Model prediksi redaman hujan yang digunakan antara lain, yaitu model prediksi ITU-R 618-5, Simple Attenuation Model (SAM), Global Crane, dan ITU-R modifikasi untuk daerah tropis.

2.8.2.1 Model ITU-R P.618-5[2]

Model ini diciptakan ITU-R untuk menghitung prediksi redaman hujan secara global di seluruh dunia dan dipergunakan untuk frekuensi sampai dengan 30 GHz. Prosedur untuk menghitung redaman hujan menggunakan model ITU-R p.618-5 memerlukan parameter – parameter sebagai berikut :

- $R_{0,01}$ = Intensitas hujan untuk persen waktu 0,01 % di suatu lokasi (mm/jam).
- f = frekuensi (GHz)
- φ = Posisi lintang stasiun bumi ($^{\circ}$)
- h_s = Tinggi stasiun bumi di atas permukaan laut (Km)

geometri lintasan untuk menghitung redaman hujan dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Geometri Lintasan Redaman Hujan ITU-R

Langkah – langkah perhitungan redaman hujan adalah sebagai berikut :

- Hitung sudut elevasi (θ) ($^{\circ}$).

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\cos \Delta L \times \cos L - \left(\frac{Re}{Re+R} \right)}{\sqrt{1 - (\cos \Delta L \times \cos L)^2}} \right] \quad (2.4)$$

- Hitung tinggi hujan efektif, h_R

$$h_R(Km) = \begin{cases} 5 - 0,075(\varphi - 23) & \text{for } \varphi > 23^{\circ} \\ 5 & \text{for } 0^{\circ} \leq \varphi \leq 23^{\circ} \\ 5 & \text{for } 0^{\circ} \geq \varphi \geq -21^{\circ} \\ 5 + 0,1(\varphi + 21) & \text{for } -71^{\circ} \leq \varphi < -21^{\circ} \\ 0 & \text{for } \varphi < -71^{\circ} \end{cases} \quad (2.5)$$

- Hitung *Slant-path*, L_s (Km)

Untuk $\theta \geq 5^\circ$

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad (2.6)$$

Untuk $\theta < 5^\circ$

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e})^{\frac{1}{2}} + \sin \theta} \quad (2.7)$$

- Hitung proyeksi garis horizontal L_G (Km)

$$L_G = L_s \cos \theta \quad (2.8)$$

- Hitung *rain rate* R di suatu lokasi
- Hitung faktor reduksi r

Untuk $R \leq 100$ mm/h

$$r = \frac{1}{1 + \frac{L_G}{L_o}} \quad (2.9)$$

Dimana

$$L_o = 35 \exp(-0,015R)$$

Untuk $R > 100$ mm/h, menggunakan nilai 100 mm/h untuk R dalam perhitungan L_o .

- Hitung redaman spesifik (γ_R) dengan koefisien k dan α sesuai dengan rekomendasi ITU-R P.838

$$\gamma_R = k(R)^\alpha \quad (\text{dB/Km}) \quad (2.10)$$

- Hitung prediksi redaman hujan untuk A

$$A = \gamma_R L_s r \quad (\text{dB}) \quad (2.11)$$

2.8.2.2 Model Global Crane[1]

Model Global Crane dikembangkan dengan dasar penelitian geografi dengan *rain rate* yang telah ditetapkan dalam tabel. Langkah – langkah perhitungan redaman hujan model Global Crane adalah sebagai berikut :

- Tentukan karakteristik dari terminal stasiun bumi berupa posisi lintang dan ketinggian di atas permukaan laut.
- Tentukan besarnya intensitas hujan di suatu lokasi R (mm/jam).
- Hitung proyeksi horizontal, L_G (Km).

$$L_G = \frac{(h_0 - h_s)}{\cos \theta} \quad \text{untuk } \theta \geq 10^\circ \quad (2.12)$$

$$L_G = R \psi \quad \text{untuk } \theta < 10^\circ$$

- Tentukan parameter (a) dan (b) yang berhubungan dengan redaman spesifik.
- Hitung redaman hujan A (dB) menggunakan R, (a), (b), θ dan D_0 .

untuk $0 \leq L_G \leq D_0$

$$A = aR^b \left[\frac{e^{ubd} - 1}{ub} \right] \quad (2.13)$$

untuk $D_0 \leq L_G \leq 22,5$

$$A = aR^b \left[\frac{e^{ubD_0} - 1}{ub} - \frac{B^b e^{cbD_0}}{cb} + \frac{B^b e^{cbd}}{cb} \right] \quad (2.14)$$

Dengan

$$D_0 = 3,8 - 0,6 \ln R \quad (2.15)$$

$$B = 2,3 R^{-0,17} \quad (2.16)$$

$$c = 0,026 - 0,03 \ln R \quad (2.17)$$

$$u = \frac{\ln[B e^{c D_0}]}{D_0} \quad (2.18)$$

2.8.2.3 Model SAM (Simple Attenuation Model)[3]

Simple Attenuation Model dikembangkan oleh Stutzman dan Dishman didasarkan bentuk *rain rate* berbentuk eksponensial. Model ini dibuat oleh NASA dengan tujuan kemudahan dalam pemakaiannya. Langkah – langkah perhitungan redaman hujan model SAM adalah sebagai berikut :

- Hitung ketinggian dari *zero degree* isotherm, H_o (Km).

$$\begin{aligned} h_o &= 4,8 && \text{untuk } |\varphi| \leq 30^\circ \\ h_o &= 7,8 - 0,1 |\varphi| && \text{untuk } |\varphi| \geq 30^\circ \end{aligned} \quad (2.19)$$

- Hitung tinggi efektif, H_r (Km).

$$\begin{aligned} h_r &= h_o && \text{untuk } R \leq 100 \text{ mm/h} \\ h_r &= h_o + \log \frac{R}{10} && \text{untuk } R \geq 100 \text{ mm/h} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Dimana :

R = Curah hujan (mm/jam)

- Hitung panjang lintasan hujan, L_s (Km)

$$L_s = \frac{(h_r - h_s)}{\sin \theta} \quad (2.21)$$

Dimana :

h_s = ketinggian stasiun bumi dari atas permukaan laut (Km)
 θ = sudut elevasi ($^\circ$)

- Hitung redaman spesifik, γ (dB/Km)

$$\gamma = k[R(l)]^\alpha \quad (2.22)$$

Dimana $R(l)$ adalah intensitas curah hujan spasial sepanjang lintasan.

$$R(l) = R \quad \text{untuk } R \leq 10 \text{ mm/h} \quad (2.23)$$

$$R(l) = R \exp\left[\frac{-\Gamma \ln\left(\frac{R}{10}\right)}{\cos \theta}\right] \quad \text{untuk } R \geq 10 \text{ mm/h}$$

dengan $\Gamma = \frac{1}{22}$ yang ditetapkan secara empiris.

- Hitung redaman hujan, (A) (dB).

$$A = \gamma L_s \quad \text{untuk } R \leq 10 \text{ mm/h} \quad (2.24)$$

$$A = \gamma \frac{1 - \exp[-\alpha \Gamma \ln\left(\frac{R}{10}\right) L_s \cos \theta]}{\Gamma \alpha \ln\left(\frac{R}{10}\right) \cos \theta} \quad \text{untuk } R \geq 10 \text{ mm/h}$$

2.8.2.4 Model ITU-R Modifikasi untuk daerah tropis[4]

Model ini diciptakan oleh J.X. Yeo dan Y.H. Lee dengan memodifikasi model ITU-R yang sudah ada untuk menghitung prediksi redaman hujan untuk daerah tropis yang memiliki tingkat curah hujan yang tinggi. Prosedur untuk menghitung redaman hujan menggunakan model ITU-R Modifikasi untuk daerah tropis memerlukan parameter – parameter sebagai berikut :

$R_{0,01}$ = Intensitas hujan untuk persen waktu 0,01 % di suatu lokasi (mm/jam).

f = frekuensi (GHz)

ϕ = Posisi lintang stasiun bumi (°)

h_s = Tinggi stasiun bumi di atas permukaan laut (Km)

Langkah – langkah perhitungan redaman hujan adalah sebagai berikut :

- Hitung sudut elevasi (θ) (°) dengan menggunakan persamaan 2.4.
- Hitung tinggi hujan efektif, h_R (km) dengan menggunakan persamaan 2.5.
- Hitung *Slant-path*, L_s (Km) dengan menggunakan persamaan 2.6 dan 2.7.
- Hitung proyeksi garis horizontal L_G (Km) dengan menggunakan persamaan 2.8.
- Hitung *rain rate* R di suatu lokasi

- Hitung redaman spesifik (γ_R) dengan koefisien k dan α sesuai dengan rekomendasi ITU-R P.838 dengan menggunakan persamaan 2.9.
- Hitung faktor reduksi r

$$r = \frac{1}{1 + 0,31 \frac{\sqrt{(L_G \gamma_R)}}{f} - 0,09(1 - e^{-2L_G})} \quad (2.25)$$

Dimana jika $r < 1$ maka $r = 1$

- Hitung faktor reduksi v

$$v = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} [31 \left(1 - e^{-\left(\frac{\theta}{1+x} \right)} \right) \frac{\sqrt{L_S \gamma_R}}{f^2} - 0,5]} \quad (2.26)$$

dengan

$$\xi = \tan^{-1} \left[\frac{h_R - h_s}{L_G \cdot r} \right] \quad (2.27)$$

Untuk $\xi > \theta$

$$L_R = \frac{(L_G \cdot r)}{\cos \theta} \quad (2.28)$$

Untuk $\xi < \theta$

$$L_R = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad (2.29)$$

dan

$$x = 36 - |\phi| \text{ untuk } |\phi| < 36^\circ \text{ atau } x = 0 \text{ untuk } |\phi| \geq 36^\circ \quad (2.30)$$

- Hitung prediksi redaman hujan untuk A (dB).

$$A = \gamma_R L_S r v \quad (\text{dB}) \quad (2.31)$$

2.9 Redaman Awan[7]

Awan merupakan partikel – partikel tetes air yang terjadi pada lapisan troposfer dan mempunyai diameter kurang dari 0,01 cm. redaman awan merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam propagasi sistem komunikasi satelit terutama pada frekuensi di atas 10 GHz. ITU-R P.840-6 membuat suatu rumusan untuk menghitung redaman yang disebabkan oleh awan tersebut. Adapun langkah – langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Hitung koefisien redaman spesifik, K_l .

$$K_l = \frac{0,918 f}{\varepsilon''(1+\eta^2)} \quad (2.32)$$

Dengan :

$$\eta = \frac{2+\varepsilon'}{\varepsilon''} \quad (2.33)$$

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{1 + (\frac{f}{f_p})^2} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + (\frac{f}{f_s})^2} + \varepsilon_2 \quad (2.34)$$

$$\varepsilon'' = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1 (\frac{f}{f_p})}{1 + (\frac{f}{f_p})^2} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2 (\frac{f}{f_s})}{1 + (\frac{f}{f_s})^2} \quad (2.35)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} f &= \text{frekuensi (GHz)} \\ \varepsilon_0 &= 77,66 + 103,3(r_t + 1) \\ \varepsilon_1 &= 5,48 \\ \varepsilon_2 &= 3,51 \\ r_t &= \frac{300}{T+273,15} \\ f_p &= 20,09 - 142,4(r_t - 1) + 294(r_t - 1)^2 \\ f_s &= 590 - 1500(r_t - 1) \end{aligned}$$

- Tentukan nilai L yang telah dipetakan oleh ITU-R untuk *total columnar content of liquid water (kg/m²)* di seluruh dunia yang terdapat dalam lampiran G.
- Hitung redaman awan, Aawan (dB).

$$A_{awan} = \frac{L \times K_l}{\sin \theta} \quad (2.36)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_{awan} &= \text{Redaman awan (dB)} \\ K &= \text{Koefisien spesifik redaman awan } ((\text{dB/km})/(\text{g/m}^3)) \\ L &= \text{total columnar content of liquid water } (\text{kg/m}^2) \end{aligned}$$

2.10 Redaman Gas Pembentuk Atmosfer[8]

Redaman yang terjadi di atmosfer adalah akibat dari penyerapan energy oleh gas – gas atmosfer. Molekul – molekul oksigen dan uap air di atmosfer dapat menyerap sinyal gelombang radio pada panjang gelombang tertentu. Daya gelombang radio yang merambat melalui atmosfer sebagian diserap oleh molekul – molekul ini. Redaman ini tidak banyak berpengaruh pada frekuensi di bawah 10 GHz, akan tetapi pada frekuensi Ku – Band (di atas 10 GHz) redaman karena gas – gas atmosfer ini tidak bisa diabaikan. ITU-R membuat suatu perumusan untuk redaman gas di atmosfer ini dalam ITU-R P.676-3. Adapun langkah – langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Hitung speifik redaman untuk γ_o dan γ_w (dB/km).

Untuk spesifik redaman oksigen γ_o (dB/km).

$$\gamma_o = \left[\frac{7,27r_t}{f^2 + 0,351 r_p^2 r_t^2} + \frac{7,5}{(f-57)^2 + 2,44r_p^2 r_t^5} \right] f^2 r_p^2 r_t^2 \cdot 10^{-3} \quad (2.37)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} f &= \text{frekuensi (GHz)} \\ r_p &= \frac{p}{1013} \\ r_t &= \frac{288}{273+t} \\ p &= \text{tekanan (hPa)} \\ t &= \text{temperature } (^{\circ}\text{C}) \end{aligned}$$

Untuk spesifik redaman uap air γ_w (dB/km).

$$\gamma_w = \left[3,27 \cdot 10^{-2} r_t + 1,67 \cdot 10^{-3} \frac{\rho r_t^7}{r_p} + 7,7 \cdot 10^{-4} f^{0.5} + \frac{3,79}{(f-22,235)^2 + 9,81 r_p^2 r_t} + \frac{11,73 r_t}{(f-183,31)^2 + 11,85 r_p^2 r_t} + \frac{4,01 r_t}{(f-325,153)^2 + 10,44 r_p^2 r_t} \right] f^2 \rho r_p r_t \cdot 10^{-4} \quad (2.38)$$

Dengan :

$$\rho = \text{water vapour density (g/m}^3\text{)}$$

- Hitung tinggi equivalen untuk oksigen (h_o) dan uap air (h_w).

Untuk tinggi oksigen h_o .

$$h_o = 6 \text{ km} \quad f < 50 \text{ GHz} \quad (2.39)$$

$$h_o = 6 + \frac{40}{(f-118,7)^2 + 1} \quad 70 < f < 350 \text{ GHz}$$

Untuk tinggi uap air h_w .

$$h_w = h_{w0} \left\{ 1 + \frac{3}{(f-22,2)^2 + 5} + \frac{5}{(f-183,3)^2 + 6} + \frac{2,5}{(f-325,4)^2 + 4} \right\} \quad (2.40)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} h_{w0} &= \text{ketinggian equivalen uap air di suatu lokasi} \\ h_{w0} &= 1,6 \text{ km di cuaca cerah} \\ h_{w0} &= 2,1 \text{ km di cuaca hujan} \end{aligned}$$

- Hitung total *slant path* redaman gas atmosfer, Atmosfer (dB).

Untuk $\theta > 10^\circ$

$$A_{atmosfer} = \frac{\gamma_0 h_0 e^{\frac{h_s}{h_0} + \gamma_w h_w}}{\sin \theta} \text{ (dB)} \quad (2.41)$$

Untuk $\theta \leq 10^\circ$

$$A_{atmosfer} = \frac{\gamma_0 h_0 e^{\frac{h_s}{h_0}}}{g(h_0)} + \frac{\gamma_w h_w}{g(h_w)} \text{ (dB)} \quad (2.42)$$

Dengan :

$$g(h) = 0,661x + 0,339 \sqrt{x^2 + 5,5\left(\frac{h}{R_e}\right)} \quad (2.43)$$

$$x = \sqrt{\sin^2 \theta + 2\left(\frac{h_s}{R_e}\right)} \quad (2.44)$$

Dimana :

- h_s = Ketinggian di atas permukaan laut (km).
- R_e = Jari – jari efektif bumi (8500 km).
- h = Merupakan h_w maupun h_o .

2.11 Link Budget

Link budget merupakan suatu metode perhitungan *link* dalam perencanaan dan pengoperasian hubungan komunikasi menggunakan satelit. Dengan menghitung setiap parameter yang terdapat didalamnya, diharapkan akan diperoleh *link* satelit yang optimum dan efisien. Dalam penulisan tugas akhir ini, tujuan dari perhitungan link budget ini adalah untuk mengetahui besarnya redaman yang disebabkan oleh hujan dengan menggunakan parameter C/N yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan. Terdapat tiga komponen penting dalam perhitungan *link budget* satelit. Tiga komponen tersebut adalah komponen *payload* satelit, komponen stasiun bumi, dan komponen jalur propagasi.

a. Komponen *payload* satelit.

Komponen *payload* satelit adalah komponen yang terdapat dalam satelit yang berfungsi untuk proses komunikasi. Secara garis besar komponen ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Parameter sisi transmise satelit.
Terdiri dari EIRP satelit yang menentukan tingkat kekuatan daya pancar satelit.
2. Parameter sisi receive satelit.
Terdiri dari G/T yang menentukan kualitas penerimaan sinyal di satelit.

b. Komponen stasiun bumi.

Komponen stasiun bumi merupakan komponen yang dimiliki oleh stasiun bumi. Komponen ini mempunyai beberapa parameter yang terdiri dari :

1. *Carrier data*, yang mencakup tipe modulasi dan *data rate*.
2. Frekuensi *uplink* dan *downlink*.
3. Letak koordinat stasiun bumi (*longitude* dan *latitude*), yang memengaruhi *azimuth* dan elevasi dari posisi antenna pada stasiun bumi.
4. *Gain* antenna stasiun bumi yang dipengaruhi oleh diameter antenna dan efisiensi antenna.

2.11.1 Link Intermediate Data Rate (IDR)

Link IDR merupakan perhitungan parameter data *carrier*. Dalam perhitungannya harus ditentukan terlebih dahulu :

- *Information Rate* (IR) (bps)
- *Data Rate* (bps)
- *Over Head* (bps)
- Eb/No (dB)
- FEC *code rate*

Dari parameter di atas dapat dihitung besarnya *data rate* dan pemakaian *bandwidth* dengan menggunakan persamaan 2.36 berikut :

$$\text{Data Rate}(R) = \text{Info Rate}(IR) + \text{Over Head} \quad (2.45)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} R &= \text{Data Rate} \\ IR &= \text{Information Rate} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui besarnya *transmission rate* dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.37 berikut.

$$\text{Transmission rate } (T_r) = \frac{R}{FEC} \quad (2.46)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} T_r &= \text{Laju transmisi (bps)} \\ R &= \text{Laju data (bps)} \end{aligned}$$

FEC = Forward Error Corection, dengan nilai = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8

Untuk menghitung besarnya *symbol rate* dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.38 berikut.

$$Symbol\ Rate = \frac{T_r}{n} \quad (2.47)$$

Dengan :

n = indeks modulasi 1 (BPSK), 2 (QPSK), 3 (8PSK), 4 (16QAM)

untuk menghitung besarnya *bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan 2.39 berikut.

$$Bandwidth = (1 + \alpha) \frac{T_r}{n} \quad (2.48)$$

Dengan :

B = Bandwidth (Hz)

n = indeks modulasi 1 (BPSK), 2 (QPSK), 3 (8PSK), 4 (16QAM)

α = suatu ketetapan (*roll of factor*) dengan nilai $\alpha = 0,2$ (BW *occupied*), $\alpha = 0,4$ (BW *allocated*).

2.11.2 Gain Antena

Gain atau penguatan adalah perbandingan antara daya pancar suatu antenna terhadap antenna referensinya. Untuk menghitung besarnya gain dari suatu antenna dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.40 berikut.

$$G = 20,4 + 20\log f + 20\log D + 10\log \eta \quad (2.49)$$

Dengan :

G = Penguatan antena pemancar atau penerima (dB).

f = Frekuensi *uplink* atau *downlink* (GHz).

- D = Diameter antena pemancar atau penerima (m).
 η = Efisiensi antena pemancar atau penerima (%).

2.11.3 EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)

EIRP digunakan untuk menatakan daya pengiriman dari stasiun bumi atau satelit. EIRP stasiun bumi dapat dihitung dengan persamaan 2.41 berikut.

$$EIRP(SB) = P_t G_t \quad (2.50)$$

Dengan :

- P_t = daya pancar sinyal *carrier* pada *feeder* antena pemancar (dBW).
 G_t = gain antena pemancar (dB).

Sedangkan EIRP satelit umumnya sudah disertakan pada desain awal dari karakteristik satelit yang bersangkutan.

2.11.4 Redaman Ruang Bebas (Free Space Loss)

Redaman ruang bebas (FSL) merupakan hilangnya daya yang dipancarkan pada ruang bebas saat pemancaran sehingga tidak seluruh daya dapat diterima oleh antena penerima. Untuk menghitung besarnya redaman ruang bebas (FSL) dapat dihitung dengan persamaan 2.42 berikut.

$$FSL = 92,45 + 20\log f + 20\log R \quad (2.51)$$

Dengan

$$R = 42.643,66 \sqrt{1 - 0,296\cos\Delta L\cos L} \quad (2.52)$$

Dimana :

- FSL = Redaman ruang bebas (dB).
 f = Frekuensi *uplink* atau *downlink* (GHz).
 R = Jarak antara stasiun bumi ke satelit (Km).
 L = *Latitude* stasiun bumi
 ΔL = Selisih antara koordinat satelit dengan stasiun bumi.

2.11.5 Figure of Merit/Gain to Temperature (G/T)

Merupakan perbandingan antara penguatan penerimaan antenna dengan *noise of temperature*. G/T dapat dihitung dengan persamaan 2.44 berikut.

$$G/T = G - 10 \log T_s \quad (2.53)$$

Dengan

$$T_{sys} = \frac{T_A}{L_{FRX}} + T_F \left(1 - \frac{1}{L_{FRX}}\right) + T_R \quad (2.54)$$

Dimana :

G/T	= Gain to Temperature (dB/°K).
G	= Penguatan antenna penerima maksimum (dB).
T_{sys}	= Temperatur sistem (°K).
T_A	= Temperatur derau antenna stasiun bumi (°K).
T_F	= Temperatur termodinamika lingkungan hujan (290°K).
L_{FRX}	= Rugi – rugi <i>feeder</i> penerima (dB).

2.11.6 Carrier to Noise Ratio (C/N)

Carrier to Noise Ratio (C/N) merupakan perbandingan antara daya sinyal pembawa dengan daya derau yang diterima. Dalam sistem komunikasi satelit terdapat 2 buah jenis C/N, yaitu C/N *uplink* dan C/N *downlink*. Dalam penulisan tugas akhir ini C/N yang digunakan adalah C/N *downlink* yang dituliskan dalam persamaan 2.46 berikut.

$$\frac{C}{N} = \frac{EIRP_{satelit} - FSL - A_{hujan} - A_{atmosfer} - A_{awan} + G/T - k - 10 \log B}{\quad} \quad (2.55)$$

Dari persamaan 2.46 dapat dihitung nilai redaman hujan (A_{Hujan}) dengan mengetahui nilai dari kualitas sinyal terima (C/N) dan parameter lain yang telah dihitung sebelumnya.

$$A_{hujan} = \frac{EIRP_{satelit} - C/N - FSL - A_{atmosfer} - A_{awan} + G/T - k - 10 \log B}{\quad} \quad (2.56)$$

Dengan :

C/N	= Nilai perbandingan arah terima antara carrier dengan noise (dB).
$EIRP_{satelit}$	= Besar energi yang dipancarkan dari antena satelit (dBW).
FSL	= Redaman free space downlink (dB).
$A_{atmosfer}$	= Rugi / redaman atmosfer (dB).
A_{hujan}	= Rugi / redaman hujan (dB).
A_{awan}	= Rugi / redaman awan (dB).
G/T	= <i>figure of merit</i> stasiun bumi (dB/°K).
k	= konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{J/K} = -228,6 \text{ (dBW/Hz } ^\circ\text{K)}$).
B	= Lebar pita informasi (Hz).

2.11.7 Energy per bit to the spectral noise density (Eb/No)

E_b/N_0 merupakan parameter utama yang digunakan pada *carrier* digital untuk mengevaluasi dan membandingkan performansi sistem komunikasi digital. E_b adalah *energy per bit* informasi dan N_0 (N-zero) adalah *noise* yang terdapat dalam 1 Hz *bandwidth*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung yaitu :

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \left(\frac{C}{N}\right)_{total} - 20 \log\left(\frac{\text{Transmission rate}}{\text{Bandwidth Occupied}}\right) \quad (2.57)$$

2.11.8 Bit Error Rate (BER)

Bit error rate (BER) merupakan presentase dari perbandingan bit yang memiliki *error* dengan keseluruhan bit yang diterima pada proses pentransmisian, biasanya dinyatakan dalam daya yang bernilai 10 sampai negatif. Contohnya sistem transmisi memiliki BER 10^{-6} artinya dari 1 juta bit yang ditransmisikan terdapat 1 bit *error*. BER menyatakan seberapa sering *packet* atau unit data harus ditransmisikan kembali karena *error*. Nilai BER yang tinggi artinya adanya keterlambatan *data rate* terhadap waktu keseluruhan transmisi data dan hal ini harus diperbaiki dengan cara mentransmisikan kembali paket data tersebut. BERT (*Bit Error Test* atau *Tester*) adalah prosedur atau peralatan yang digunakan untuk mengukur BER pada proses transmisi. BER dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BER_{QPSK} = Q \left[\sqrt{\frac{2Eb}{No}} \right] \quad (2.58)$$

$$BER_{8PSK} = \frac{1}{12} Q \left[\left(\frac{6Eb}{No} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{8} \right) \right] \quad (2.59)$$

$$BER_{16QAM} = \left(\frac{3}{4} \right) \cdot Q \left[\sqrt{\frac{4Eb}{5No}} \right] \quad (2.60)$$

Dengan :

Q = menyatakan besaran BER
 Eb/No = *Energy Bit to the Spectral Noise Density*

2.11.9 Link Availability

Link availability merupakan persentase dari waktu ke waktu keseluruhan ketersediaan layanan dimana sistem mampu menyediakan layanan tanpa gangguan dan memenuhi batas maksimum *Bit Error Rate* (BER) yang telah ditentukan. Nilai *availability* ini kemudian dialokasikan diantara berbagai faktor yang dapat membuat sistem *down*, termasuk redaman hujan, interferensi dan faktor *hardware*.

2.11.10 Margin

Margin merupakan cadangan daya yang disediakan pada *link* komunikasi agar komunikasi dapat berjalan dengan baik saat terjadi *fading*, khususnya *fading* yang disebabkan oleh hujan. Adapun persamaan untuk menghitung nilai *margin* adalah sebagai berikut :

$$Margin (dB) = (C/N)_{total} - (C/N)_{required} \quad (2.61)$$

Dengan :

$$(C/N)_{required} = (Eb/No)_{required} + 10 \log \left(\frac{\text{Transmission rate}}{\text{Bandwidth}} \right)$$

$$(Eb/No)_{required} = Eb/No \text{ spesifikasi modem}$$

BAB III

METODE PENGUKURAN

Pada bab ini dijelaskan metode pengukuran redaman hujan dengan menggunakan parameter kualitas (C/N) meliputi gambaran awal yang berisi deskripsi pengukuran perbandingan nilai *carrier* terhadap *noise* (C/N), arsitektur pengukuran kualitas (C/N), alur pengukuran kualitas (C/N) dan kebutuhan perangkat.

3.1 Gambaran Awal

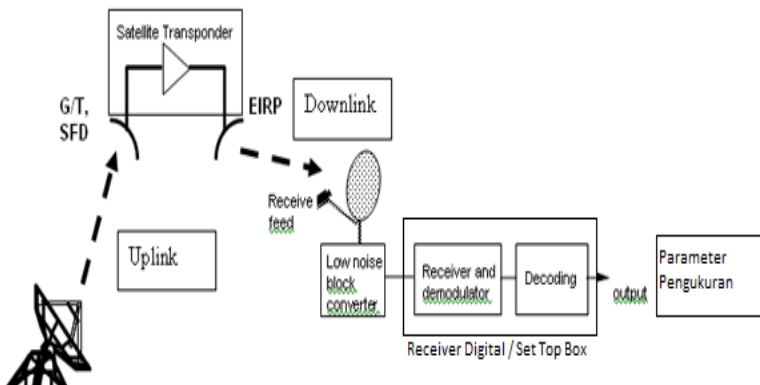
Pada tugas akhir ini metode pengukuran dilakukan di daerah Juanda Surabaya. Pada proses pengukuran ini terdapat beberapa parameter yang dicatat dalam proses pengukuran tetapi parameter yang akan digunakan nantinya yaitu parameter kualitas (C/N). Nilai kualitas ini dipilih karena nantinya dapat digunakan untuk menghitung nilai dari redaman hujan yang selanjutnya akan digunakan untuk penentuan pemodelan redaman hujan yang sesuai untuk wilayah Surabaya. Pengukuran kualitas (C/N) dilakukan secara statis dimana pengukuran hanya dilakukan di satu tempat saja.

Metode pengerjaan tugas akhir ini yaitu pertama menentukan sistematika pengukuran, meliputi alur pengukuran dan arsitektur pengukuran kualitas (C/N). Pengukuran dilakukan di wilayah Juanda Surabaya. Pengukuran dilakukan selama tujuh belas kali untuk kanal Ku-Band dan dua belas kali untuk kanal C-Band. Proses pencatatan data dilakukan setiap 30 detik sekali selama hujan berlangsung atau selama satu jam apabila hujan berlangsung lebih dari satu jam. Sehingga setiap menitnya terdapat 2 sampel data. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua satelit yang berbeda, satelit JCSAT 4B digunakan untuk pengukuran kanal Ku-Band dan satelit TELKOM 1 untuk pengukuran kanal C-Band. Langkah selanjutnya mempersiapkan perangkat yang dibutuhkan yaitu dish parabola, LNB, kabel coaxial dan receiver digital / set top box. Kemudian setelah itu melakukan setting perangkat tersebut agar dapat terhubung dengan satelit, dalam pengukuran ini proses setting perangkat tersebut dilakukan dua kali karena proses pengukuran menggunakan dua satelit yang berbeda. Setelah selesai pengukuran, hasil data diolah dan dianalisis dalam bentuk grafik dan tabel. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan pemodelan

sehingga dapat ditarik kesimpulan untuk menentukan pemodelan yang sesuai digunakan untuk wilayah Surabaya.

3.2 Arsitektur Pengukuran

Pada gambar 3.1 merupakan gambaran dari metode pengukuran yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini, secara garis besar sinyal dari satelit ditangkap oleh antenna penerima kemudian dipantulkan ke arah LNB untuk dikuatkan kemudian ditransmisikan melalui kabel *coaxial* untuk selanjutnya dikonversi menjadi sinyal audio dan video oleh *receiver digital / set top box* yang terdiri dari decoder untuk . Dalam penulisan tugas akhir ini data pengukuran didapatkan dari *receiver digital / Set Top Box*.



Gambar 3.1 Arsitektur Pengukuran Kualitas (C/N).

3.3 Parameter Teknis Pengukuran

Parameter teknis merupakan parameter yang dicatat dalam setiap kali dilaksanakan suatu pengukuran, parameter teknis tersebut terdapat dalam *set top box*. Sedangkan *set top box* itu sendiri merupakan alat yang terdiri dari decoder yang berfungsi untuk mengatur saluran televisi yang akan diterima. Adapun parameter teknis yang dimasukkan dalam pengukuran tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Frekuensi kerja.
- b. Simbol rate.

- c. Polarisasi.
- d. Nilai BER.
- e. Nilai C/N.
- f. Kualitas & kekuatan sinyal.



Gambar 3.2 Parameter Teknis Pengukuran

3.4 Perangkat Pengukuran

Sebelum melakukan pengukuran, dibutuhkan perangkat sebagai penunjang. Perangkat-perangkat ini merupakan bagian penting dari pengukuran, sehingga dapat diperoleh data yang nantinya akan dianalisis. Adapun perangkat yang digunakan dalam pengukuran yaitu :

- a. Antena parabola berukuran 0,8 m (milik operator TV berlangganan).
Merupakan piringan / paying parabola yang berfungsi untuk memantulkan sinyal dari satelit ke titik fokus, sehingga dapat diterima oleh LNB.



Gambar 3.3 Antena Parabola

b. *Low Noise Block (LNB).*

Merupakan *converter* blok yang berfungsi untuk menerima sinyal gelombang mikro dari satelit yang memantul dari parabola untuk kemudian dikuatkan dan ditransmisikan ke *receiver digital* parabola. Dengan spesifikasi :

- 1) Model : Matrix LC-999 Dual Band
- 2) C-Band
 - Input : 3,4 – 4,2 GHz
 - Output : 950 – 1750 MHz
 - L.O : 5150 MHz
- 3) Ku-Band
 - Input : 10,7 – 12,75 GHz
 - Output : 950 – 1950 MHz (Low Band)
1100 – 2150 MHz (High Band)
 - L.O : 9,75 GHz (Low Band)
10,6 GHz (High Band)



Gambar 3.4 Low Noise Block (LNB)

c. *Set Top Box / Receiver digital.*

Merupakan perangkat penting untuk mengkonversi gelombang sinyal mikro dari LNB menjadi sinyal audio dan video. Dalam penulisan Tugas Akhir ini parameter teknis yang akan digunakan dalam pengukuran terdapat dalam perangkat ini. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- 1) Model : LG SN730H-SI
- 2) Power requirements : DC 12 V, 2 A
- 3) Frequency range : 950 – 2150 MHz
- 4) LNB Power & Polarisation: 18 Vdc,
13 V (vertical), 18 V (Horizontal)

- 5) Impedance : 75Ω
- 6) Demodulation : QPSK, 8PSK



Gambar 3.5 Set Top Box / Receiver Digital

d. Kabel *coaxial* + konektor LNB.

Merupakan kabel transmisi untuk menghantarkan gelombang elektromagnetik dari LNB menuju *receiver*. Dalam penulisan Tugas Akhir ini digunakan jenis kabel coaxial RG 6 75Ω . Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- 1) Impedance : 75Ω
- 2) Velocity of propagation : 65,9 %
- 3) Max Operating frequency : 3 GHz
- 4) RF shielding : 90 dB
- 5) Capacitance : 67,59 (pF/m)
- 6) Max operating voltage : 2700 Volt

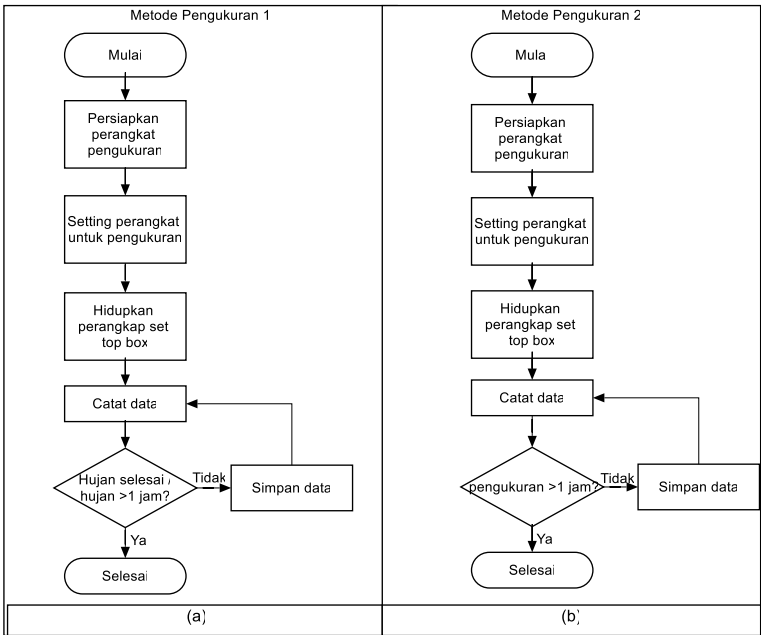


Gambar 3.6 Kabel Coaxial 75Ω

3.5 Skenario Pengukuran

Dalam melakukan pengukuran tugas akhir ini, pengukuran di bagi menjadi dua tahap pengukuran. Pengukuran tahap pertama dilakukan untuk mengukur kualitas (C/N) untuk kanal Ku - Band dengan

menggunakan satelit JCSAT 4B. Sedangkan pengukuran tahap kedua dilakukan untuk mengukur kualitas (C/N) untuk kanal C - Band. Dalam setiap tahap pengukuran, dilakukan dua jenis pengukuran. Pengukuran jenis pertama dilakukan pada saat terjadi hujan, pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar sinyal yang diterima stasiun bumi pada saat terjadi hujan. Pengukuran jenis kedua adalah pengukuran yang dilakukan pada saat tidak terjadi hujan, tetapi dengan kondisi waktu yang berbeda – beda. Dalam pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya sinyal yang diterima oleh stasiun bumi pada saat kondisi cerah dan juga dimaksudkan untuk mengetahui apakah ada perbedaan antara pengukuran yang dilakukan pada waktu pagi, siang, atau malam hari.



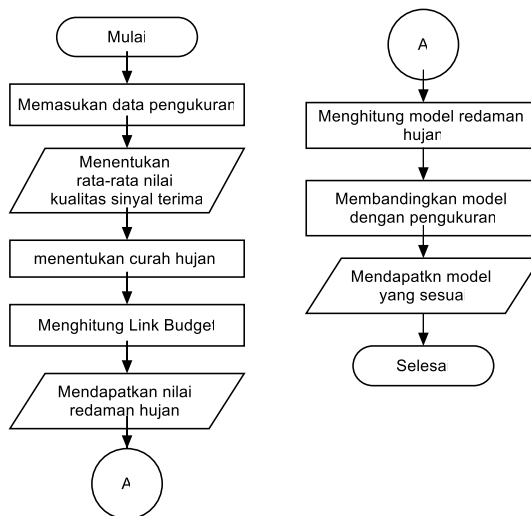
Gambar 3.7 Flowchart Pengukuran (a) kondisi hujan (b) kondisi tidak hujan.

- Siapkan perangkat yang akan digunakan untuk pengukuran seperti dish parabola, LNB, kabel *coaxial*, dan *set top box*.
- Untuk tahap pertama setting perangkat agar mengarah pada posisi satelit JCSAT 4B untuk melakukan pengukuran pada kanal Ku-Band

- c. Untuk tahap pengukuran kedua setting perangkat agar mengarah pada posisi satelit TELKOM 1 untuk melakukan pengukuran pada kanal C-Band.
- d. Hidupkan *receiver digital* / *set top box*.
- e. Pilih menu *setting* LNB kemudian hidupkan LNB.
- f. Pilih menu *meter signal*.
- g. Amati dan catat semua parameter teknis yang ditampilkan oleh *set top box* / *receiver digital*.
- h. Pengukuran dengan metode pertama dilakukan tiap 30 detik selama hujan berlangsung dengan batas waktu satu jam untuk satu kali pengukuran apabila hujan turun lebih dari satu jam.
- i. Pengukuran dengan metode kedua dilakukan tiap 30 detik dalam kondisi cuaca cerah selama 1 jam dengan waktu yang berbeda – beda, yaitu pagi, siang dan malam hari.

3.6 Skenario Pengolahan Data

Setelah melakukan pengukuran, didapatkan data hasil pengukuran berupa nilai kualitas (C/N). Nilai inilah yang nantinya akan diolah untuk mendapatkan nilai dari redaman hujan yang akan ditampilkan dalam tabel dan juga grafik.



Gambar 3.8 Flowchart Pengolahan Data Hasil Pengukuran

Langkah pertama dalam proses pengolahan data adalah memasukan data untuk tiap pengukuran yang sebelumnya dicatat secara manual ke dalam *Microsoft excel*, proses ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam pengolahan data hasil pengukuran. Data yang telah dimasukan ke dalam *Microsoft excel* kemudian dikelompokkan untuk selanjutnya mencari nilai rata – rata dari kualitas (C/N) untuk tiap pengukuran.

Langkah selanjutnya yaitu menentukan curah hujan untuk tiap pengukuran, penentuan curah hujan ini nantinya dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar nilai redaman hujan untuk tiap curah hujan dan perhitungan model redaman hujan. Proses selanjutnya yaitu menghitung *link budget*, di dalam proses ini nantinya akan diketahui berapa besar nilai redaman hujan untuk tiap pengukuran.

Selanjutnya setelah mendapatkan nilai redaman hujan untuk tiap data pengukuran adalah menghitung nilai redaman hujan berdasarkan pemodelan. Perhitungan pemodelan disesuaikan dengan curah hujan untuk tiap pengukuran. Setelah didapatkan nilai redaman hujan berdasarkan pemodelan langkah selanjutnya yaitu membandingkan keempat pemodelan tersebut dengan pengukuran untuk selanjutnya ditentukan pemodelan yang mendekati dengan pengukuran. Hasil pengolahan data ini selanjutnya akan ditampilkan dalam grafik dan juga tabel.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai data hasil pengukuran yang telah dilakukan untuk selanjutnya diolah dan dianalisa. Data pengukuran dibagi menjadi dua yaitu data untuk pengukuran pada kanal Ku- Band dan data pengukuran untuk kanal C-Band. Dalam bab ini data pengukuran yang ditampilkan merupakan data yang telah diolah, data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel. Pada bab ini juga akan dijelaskan perhitungan model redaman hujan. Adapun model redaman hujan yang digunakan adalah model prediksi ITU-R 618-5, Simple Attenuation Model (SAM), Global Crane, dan ITU-R modifikasi untuk daerah tropis. Keempat model tersebut dibandingkan dengan hasil pengukuran yang telah didapatkan untuk selanjutnya menentukan pemodelan yang sesuai untuk wilayah Surabaya.

4.1 Data Pengukuran Ku-Band

Lokasi pengukuran dilaksanakan di daerah Juanda Surabaya dengan posisi stasiun bumi berada pada koordinat $7,22^{\circ}$ LS dan $112,45^{\circ}$ BT dan satelit pemancar menggunakan satelit JCSAT 4B yang berada pada posisi 124° BT. Pengukuran dilaksanakan antara bulan Maret sampai dengan bulan Mei 2016 dengan jumlah total pengukuran sebanyak tujuh belas (17) kali pengukuran.

Pada tabel 4.1 ditampilkan data pengukuran untuk kanal Ku-Band. Untuk pengukuran dengan kondisi cuaca hujan dilakukan sebanyak dua belas (12) kali pengukuran, dengan curah hujan terbesar yaitu pada pengukuran 17 dengan curah hujan sebesar 80,2 mm/jam, dalam pengukuran ini didapatkan nilai kualitas (C/N) rata – rata adalah sebesar 3,48 dB. Sedangkan untuk pengukuran dengan kondisi cuaca cerah atau tidak ada hujan dilakukan sebanyak lima (5) kali dengan rata – rata nilai kualitas (C/N) sebesar 15,7 dB.

Tabel 4.1 Data Pengukuran Kanal Ku-Band

Pengukuran	Curah Hujan (mm/jam)	Data Pengukuran			
		Power (dBmV)	C/N (dB)	Kekuatan Sinyal	Kualitas Sinyal
1	51	7.5625	5.9063	58%	7%
2	58.1	7.6167	5.8333	59%	7%
3	0	17.77	15.71	87%	100%
4	49.2	7.3778	5.1111	58%	5%
5	62	6.4103	3.6752	52%	3%
6	0	17.774	15.785	86%	100%
7	0	17.774	15.72	86%	100%
8	5.3	15.075	14.978	81%	97%
9	3.4	15.639	15.278	82%	100%
10	30	11.429	9.6429	70%	51%
11	0	15.602	15.871	82%	100%
12	22.1	11.681	10.389	72%	52%
13	79.8	5.5135	3.6396	61%	2%
14	19.1	12.085	12.72	70%	74%
15	0.7	15.73	15.905	82%	100%
16	12	12.538	12.72	76%	75%
17	80.2	6.0309	3.4845	60%	2%

4.2 Analisis Data Pengukuran Ku-Band

Data pengukuran pada tabel 4.1 dianalisa menggunakan perhitungan *link budget* untuk mendapatkan nilai dari redaman hujan. Sedangkan parameter data pengukuran yang digunakan dalam perhitungan *link budget* yaitu parameter kualitas (C/N).

4.2.1 Perhitungan Redaman Hujan Data Pengukuran Ku-band

Dengan menggunakan data dari spesifikasi satelit JCSAT 4B pada posisi 124°BT dan stasiun bumi penerima pada posisi 112,72°BT, analisa ini menggunakan asumsi data yang sudah ditentukan pada perhitungan dengan menggunakan parameter pada stasiun bumi penerima yang berlokasi di Surabaya. Adapun data – data yang diperlukan dalam melakukan analisa menggunakan perhitungan *link budget* dapat dilihat dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Parameter Perhitungan Link Budget Kanal Ku-Band

Parameter	Nilai	Satuan
Satelit yang digunakan	JCSAT 4B	
Posisi satelit	124	°BT
Frekuensi	12,491	GHz
EIRP satelit	52	dBW
Bandwidth	36	MHz
Lokasi stasiun bumi	7,22 112,72	°LS °BT
Diameter antenna stasiun bumi (D)	0,8	m
Efisiensi antenna (η)	60	%
Jari – jari bumi (R_e)	6378	Km
Rugi saluran transmisi penerima (L_{frx})	0,5	dB
Temperatur derau antenna stasiun bumi (T_A)	32	°K
Temperatur feeder (T_F)	290	°K
Temperatur derau input efektif stasiun bumi (T_R)	45	°K
Konstanta Boltzman (k)	-228,6	dB

Untuk dapat mencari parameter *link budget*, lokasi geografis sangat berpengaruh terhadap perhitungan sehingga langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung sudut elevasi dan jarak antara stasiun bumi dengan satelit. Untuk menghitung jarak antara stasiun bumi dengan satelit dapat digunakan persamaan 2.52.

$$R = 42.643,66 \sqrt{1 - 0,296 \cos(11,28) \cos(7,22)}$$

$$R = 35983,25 \text{ Km}$$

Untuk mengetahui sudut elevasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\cos(11,28) \times \cos(7,22) - \left(\frac{6378}{6378 + 35983,25} \right)}{\sqrt{1 - (\cos(11,28) \times \cos(7,22))^2}} \right]$$

$$\theta = 74,29^\circ$$

Selanjutnya hitung nilai gain dari antenna stasiun bumi yang berlokasi di Surabaya dengan menggunakan persamaan 2.49.

$$G = 20,4 + 20\log(12,491) + 20\log(0,8) + 10\log(0,6)$$

$$G = 38,17 \text{ dBi}$$

Langkah selanjutnya menghitung temperature sistem dengan menggunakan persamaan 2.54.

$$T_{sys} = \frac{32}{\frac{0,6}{10^{10}}} + 290 \left(1 - \frac{1}{\frac{0,6}{10^{10}}}\right) + 45$$

$$T_{sys} = 110,57 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Dengan didapatkannya nilai temperature sistem maka dapat dihitung parameter *figure of merit* stasiun bumi dengan menggunakan persamaan 2.53.

$$G/T = 38,17 - 10\log(110,57)$$

$$G/T = 17,73 \text{ dB/ }^{\circ}\text{K}$$

Sedangkan untuk menghitung parameter *free space loss* (FSL) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.51.

$$FSL = 92,45 + 20\log(12,491) + 20\log(35983,25)$$

$$FSL = 205,49 \text{ dB}$$

Untuk menghitung parameter redaman awan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.28 dengan langkah perhitungan sebagai berikut :

Hitung koefisien redaman spesifik, dengan terlebih dahulu menghitung parameter ϵ' , ϵ'' , dan η .

- 1) Menghitung parameter ϵ' dengan menggunakan persamaan 2.34.

$$\epsilon' = \frac{\{77,66 + 103,3(2)\} - 5,48}{1 + \left(\frac{12,491}{\{20,09 - 142,4(1-1) + 294(1-1)^2\}}\right)^2} + \frac{5,48 - 3,51}{1 + \left(\frac{12,491}{(590 - 1500(1-1))}\right)^2} + 3,51$$

$$\epsilon' = 205,84$$

- 2) Menghitung parameter ϵ'' menggunakan persamaan 2.35.

$$\varepsilon'' = \frac{\{77,66+103,3(1+1)\}-5,48\left(\frac{12,491}{\{20,09-142,4(1-1)+294(1-1)^2\}}\right)}{1+\left(\frac{12,491}{\{20,09-142,4(1-1)+294(1-1)^2\}}\right)^2} +$$

$$\frac{5,48-3,51\left(\frac{12,491}{590-1500(1-1)}\right)}{1+\left(\frac{12,491}{590-1500(1-1)}\right)^2}$$

$$\varepsilon'' = 208,91$$

3) Menghitung parameter η menggunakan persamaan 2.33.

$$\eta = \frac{2 + 205,84}{208,91}$$

$$\eta = 0,994$$

Setelah parameter ε' , ε'' , dan η didapatkan, hitung koefisien redaman spesifik K_l dengan menggunakan persamaan 2.32.

$$K_l = \frac{0,918 (12,491)}{208,91(1+(0,994)^2)}$$

$$K_l = 0,0276$$

Tentukan nilai L yang telah dipetakan oleh ITU-R untuk *total columnar content of liquid water (kg/m^2)* di seluruh dunia yang terdapat dalam lampiran E. Berdasarkan ITU-R nilai L untuk daerah pengukuran yaitu sebesar $2 kg/m^2$. Selanjutnya menghitung redaman awan dengan menggunakan persamaan 2.36.

$$A_{awan} = \frac{2 \times 0,0276}{\sin (74,29)}$$

$$A_{awan} = 0,0573 \text{ dB}$$

Setelah mendapatkan nilai dari redaman awan, langkah selanjutnya yaitu menghitung redaman yang disebabkan gas pembentuk atmosfer, yang dalam penulisan tugas akhir ini disebut dengan redaman atmosfer. Untuk langkah perhitungannya yaitu menghitung spesifik redaman untuk γ_o dan γ_w (dB/km). Untuk spesifik redaman oksigen γ_o dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.37.

$$\gamma_o = \left[\frac{7,27(1)}{(12,491)^2 + 0,351(1)^2(1)^2} + \frac{7,5}{(12,491-57)^2 + 2,44(1)^2(1)^5} \right] (12,491)^2(1)^2(1)^2 \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_0 = 7,842 \times 10^{-3} \text{ dB/km}$$

Untuk spesifik redaman uap air γ_w dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.38

$$\gamma_w = \left[\frac{3,27 \cdot 10^{-2}(1) + 1,67 \cdot 10^{-3} \frac{(7,5)(1)^7}{(1)}}{\frac{3,79}{(12,491-22,235)^2+9,81(1)^2(1)} + \frac{11,73(1)}{(12,491-183,31)^2+11,85(1)^2(1)}} + \frac{4,01(1)}{(12,491-325,153)^2+10,44(1)^2(1)} \right] (12,491)^2(7,5)(1)(1) \cdot 10^{-4}$$

$$\gamma_w = 0,04 \text{ dB/km}$$

Hitung tinggi equivalen untuk oksigen (h_o) dan uap air (h_w). Untuk tinggi oksigen h_o dapat dihitung menggunakan persamaan 2.39.

$$h_o = 6 \text{ km}$$

Untuk tinggi uap air dapat dihitung menggunakan persamaan 2.41.

$$h_w = 2,1 \left\{ 1 + \frac{3}{(12,491-22,2)^2+5} + \frac{5}{(12,491-183,3)^2+6} + \frac{2,5}{(12,491-325,4)^2+4} \right\}$$

$$h_w = 2,164 \text{ Km}$$

Hitung redaman atmosfer dengan menggunakan persamaan 2.38.

$$A_{atmosfer} = \frac{7,842 \times 10^{-3} (6) e^{\frac{0,006}{6}} + (0,04) (2,164)}{\sin 74,29}$$

$$A_{atmosfer} = 0,1387 \text{ dB}$$

Dari data dan perhitungan *link budget* di atas diperoleh parameter EIRP satelit = 52 dBW, (G/T) stasiun bumi = 17,73 dB/°K, konstanta Boltzman = -228,6 dBW/Hz, redaman *free space loss* (FSL) = 205,49 dB, redaman awan (Aawan) = 0,0573 dB, redaman atmosfer (Aatmosfer) = 0,1387 dB, dan *bandwidth* (B) = 3,6 Mhz. Sehingga untuk menentukan besarnya redaman hujan (Ahujan) dengan menggunakan parameter kualitas (C/N) yang didapat dari hasil pengukuran, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.56.

$$A_{\text{hujan}} = 52 - 16 - 205,49 - 0,1387 - 0,0573 + 17,73 + 228,6 - 10 \log 3600000$$

$$A_{\text{hujan}} = 11,0809 \text{ dB}$$

Dalam perhitungan diatas diambil nilai kualitas (C/N) sebesar 16 dB yang merupakan nilai (C/N) pada kondisi tidak hujan. Dari perhitungan didapatkan nilai redaman hujan sebesar 11,0809 dB yang seharusnya secara teori pada saat kondisi cuaca cerah tidak terjadi redaman hujan, sehingga dalam penulisan tugas akhir ini, nilai tersebut dijadikan sebagai nilai margin yang diberikan pada sistem.

Dengan menggunakan langkah perhitungan yang sama, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan besarnya nilai redaman hujan untuk nilai kualitas (C/N) lainnya. Sedangkan untuk hasil perhitungan nilai redaman hujan lainnya dapat dilihat dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Redaman Hujan Kanal Ku-Band

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,7	3,4	5,3	12	19,1	22
Redaman Hujan (dB)	0,228	0,095	0,722	1,021	3,279	3,28	5,611
Curah Hujan (mm/jam)	30	49,2	51	58,1	62	79,8	80,2
Redaman Hujan (dB)	6,357	10,889	10,094	10,167	12,325	12,36	12,515

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa untuk curah hujan 0 mm/jam masih terdapat redaman hujan sebesar 0,228 dB. Sedangkan untuk curah hujan terbesar pada saat pengukuran yaitu sebesar 80,2 mm/jam memiliki redaman hujan sebesar 12,515 dB.

4.3 Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal Ku-band

Dalam tugas akhir ini, perhitungan model redaman hujan dibagi menjadi dua tahap yaitu perhitungan pada kanal Ku-Band dan perhitungan pada kanal C-Band. Adapun model perhitungan yang digunakan yaitu model prediksi ITU-R 618-5, Simple Attenuation Model (SAM), Global Crane, dan ITU-R modifikasi untuk daerah tropis. Sebelum melakukan perhitungan diperlukan beberapa parameter untuk perhitungan, adapun parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Parameter Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal Ku-band.

Parameter	Nilai	Satuan
Frekuensi (Ku-Band)	12,491	GHz
Sudut elevasi (θ)	74,29	°
Posisi lintang stasiun bumi (ϕ)	7,22	°
Tinggi stasiun bumi di atas permukaan laut (hs)	0,006	Km
Curah Hujan (R)	80,2	mm/jam

4.3.1 Model ITU-R P.618-5

Dengan menggunakan data parameter pada tabel 4.1, langkah pertama yaitu menentukan tinggi hujan efektif (h_R) dengan menggunakan persamaan 2.5.

$$h_R = 5 \text{ Km untuk } 0^\circ \leq \phi \leq 23^\circ$$

kemudian dengan menggunakan persamaan 2.6, hitung panjang lintasan miring (*slant path*) (L_S).

$$L_S = \frac{(5-0,006)}{\sin 74,29^\circ}$$

$$L_S = 5,187 \text{ Km}$$

Kemudian hitung proyeksi garis horizontal (L_G) dengan menggunakan persamaan 2.8.

$$L_G = (5,187) \cos 74,29^\circ$$

$$L_G = 1,404 \text{ Km}$$

Kemudian hitung faktor reduksi (r) dengan menggunakan persamaan 2.9.

$$L_0 = 35 \exp(-0,015(80,2))$$

$$L_0 = 10,51$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{1,404}{10,51}}$$

$$r = 0,8821$$

Kemudian hitung redaman spesifik (γ_R) dengan menggunakan persamaan 2.10 dengan koefisien k dan α sesuai dengan rekomendasi ITU-R P.838 yang terdapat pada lampiran C.

$$\gamma_R = 0,01882(80,2)^{1,2168}$$

$$\gamma_R = 3,9049 \text{ dB/Km}$$

Setelah semua parameter didapatkan, langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai redaman hujan dengan menggunakan persamaan 2.11.

$$A = (3,9049)(5,187)(0,8821)$$

$$A = 17,86 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas maka untuk nilai redaman hujan dengan curah hujan yang lain dapat dilihat pada tabel 4.5 dan gambar 4.2. Dari tabel 4.5 diketahui bahwa semakin besar curah hujan maka semakin besar pula redaman hujan yang dihasilkan, dimana untuk curah hujan tertinggi yaitu 80,2 mm/jam didapatkan nilai redaman hujan sebesar 17,86 dB.

Tabel 4.5 Perhitungan Redaman Hujan Model ITU-R P.618-5 Kanal Ku-Band.

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,7	3,4	5,3	12	19,1	22
Redaman Hujan (dB)	0	0,06	0,415	0,711	1,915	3,355	3,976
Curah Hujan (mm/jam)	30	49,2	51	58,1	62	79,8	80,2
Redaman Hujan (dB)	5,76	10,313	10,751	12,487	13,444	17,774	17,86

4.3.2 Model Global Crane

Berdasarkan data pada tabel 4.4 maka langkah pertama untuk menghitung nilai redaman hujan yaitu menghitung proyeksi horizontal, L_G (Km) dengan menggunakan persamaan 2.12.

$$L_G = \frac{(1,3-0,006)}{\cos 74,29}$$

$$L_G = 4,778 \text{ Km}$$

Tentukan parameter (a) dan (b) yang berhubungan dengan redaman spesifik yang dapat dilihat dalam lampiran D.

$$a = 0,0228$$

$$b = 1,145$$

Hitung koefisien D_0 dengan menggunakan persamaan 2.15.

$$D_0 = 3,8 - 0,6 \ln(80,2)$$

$$D_0 = 1,1692$$

Hitung koefisien B dengan menggunakan persamaan 2.16.

$$B = 2,3 (80,2)^{-0,17}$$

$$B = 1,0914$$

Hitung koefisien c dengan menggunakan persamaan 2.17.

$$c = 0,026 - 0,03 \ln(80,2)$$

$$c = -0,10553$$

Hitung koefisien u dengan menggunakan persamaan 2.18.

$$u = \frac{\ln[(1,0914)e^{(-0,10553)(1,1692)}]}{1,1692}$$

$$u = -0,031$$

Setelah semua parameter didapatkan, langkah selanjutnya yaitu menghitung redaman hujan A (dB) dengan menggunakan persamaan 2.14.

$$A = (0,0228)(80,2)^{(1,145)} \left[\frac{e^{(-0,031)(1,145)(1,1692)} - 1}{(-0,031)(1,145)} - \frac{(1,0914)^{(1,145)} e^{(-0,10553)(1,145)(1,1692)}}{(-0,10553)(1,145)} + \frac{(1,0914)^{(1,145)} e^{(-0,10553)(1,145)(4,778)}}{(-0,10553)(1,145)} \right]$$

$$A = 13,77 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas maka didapatkan nilai redaman hujan dengan curah hujan yang lain dan dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perhitungan Redaman Hujan Model Global Crane Kanal Ku-Band.

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,7	3,4	5,3	12	19,1	22
Redaman Hujan (dB)	0	0,158	0,725	1,104	2,381	3,674	4,19
Curah Hujan (mm/jam)	30	49,2	51	58,1	62	79,8	80,2
Redaman Hujan (dB)	5,585	8,811	9,107	12,487	10,891	13,711	13,773

Dari tabel 4.6 diketahui bahwa semakin besar curah hujan maka semakin besar pula redaman hujan yang dihasilkan, dimana untuk perhitungan redaman hujan menggunakan model Global Crane dengan curah hujan tertinggi yaitu 80,2 mm/jam didapatkan nilai redaman hujan sebesar 13,77 dB.

4.3.3 Model Simple Attenuation Model (SAM)

Dengan menggunakan data parameter pada tabel 4.4 langkah – langkah untuk menghitung nilai redaman hujan menggunakan model *Simple Attenuation Model* adalah sebagai berikut :

Hitung ketinggian dari *zero degree* isotherm, H_0 (Km) dengan menggunakan persamaan 2.19.

$$h_0 = 4,8 \text{ Km} \quad \text{untuk } |\varphi| \leq 30^\circ$$

Selanjutnya yaitu menentukan tinggi efektif (H_r) dengan menggunakan persamaan 2.20.

$$h_r = h_0 = 4,8 \text{ Km} \text{ untuk } R \leq 100 \text{ mm/h}$$

Selanjutnya menghitung panjang lintasan hujan (L_s) dengan menggunakan persamaan 2.21.

$$L_s = \frac{(4,8 - 0,006)}{\sin 74,29}$$

$$L_s = 4,98 \text{ Km}$$

Selanjutnya menghitung redaman spesifik (γ) dengan menggunakan persamaan 2.22, dengan terlebih dahulu menghitung $R(l)$ yang merupakan intensitas curah hujan spasial sepanjang lintasan dengan menggunakan persamaan 2.23.

$$R(l) = (80,2) \exp\left[\frac{-\left(\frac{1}{22}\right) \ln\left(\frac{80,2}{10}\right)}{\cos 74,29}\right]$$

$$R(l) = 56,544$$

$$\gamma = (0,01882)[56,544]^{1,2168}$$

$$\gamma = 2,5522 \text{ dB/Km}$$

Setelah semua parameter didapatkan, kemudian hitung redaman hujan (A) dengan menggunakan persamaan 2.24.

$$A = (2,5522) \frac{1 - \exp\left[-(1,2168) \left(\frac{1}{22}\right) \ln\left(\frac{80,2}{10}\right) (4,98) \cos(74,29)\right]}{\left(\frac{1}{22}\right) (1,2168) \ln\left(\frac{80,2}{10}\right) \cos 74,29}$$

$$A = 11,77 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas maka untuk nilai redaman hujan dengan curah hujan yang lain dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perhitungan Redaman Hujan Simple Attenuation Model Kanal Ku-Band.

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,7	3,4	5,3	12	19,1	22
Redaman Hujan (dB)	0	0,104	0,517	0,811	1,844	2,902	3,331
Curah Hujan (mm/jam)	30	49,2	51	58,1	62	79,8	80,2
Redaman Hujan (dB)	4,509	7,307	7,568	8,594	9,157	11,715	11,773

Dari tabel 4.7 diketahui bahwa semakin besar curah hujan maka semakin besar pula redaman hujan yang dihasilkan, dimana untuk perhitungan redaman hujan menggunakan Simple Attenuation Model dengan curah hujan tertinggi yaitu 80,2 mm/jam didapatkan nilai redaman hujan sebesar 11,77 dB.

4.3.4 Model ITU-R Modifikasi untuk Daerah Tropis

Dengan menggunakan data parameter pada tabel 4.1, langkah pertama yaitu menentukan tinggi hujan efektif (H_r) dengan menggunakan persamaan 2.5.

$$h_r = 5 \text{ Km untuk } 0^\circ \leq \varphi \leq 23^\circ$$

kemudian dengan menggunakan persamaan 2.6, hitung panjang lintasan miring (*slant path*) (L_s).

$$L_s = \frac{(5-0,006)}{\sin 74,29^\circ}$$

$$L_s = 5,187 \text{ Km}$$

Kemudian hitung proyeksi garis horizontal (L_G) dengan menggunakan persamaan 2.8.

$$L_G = (5,187) \cos 74,29^\circ$$

$$L_G = 1,404 \text{ Km}$$

Kemudian hitung redaman spesifik (γ_R) dengan menggunakan persamaan 2.10 dengan koefisien k dan α sesuai dengan rekomendasi ITU-R P.838 yang terdapat pada lampiran D.

$$\gamma_R = 0,01882(80,2)^{1,2168}$$

$$\gamma_R = 3,9049 \text{ dB/Km}$$

Selanjutnya yaitu menghitung faktor reduksi (r) dengan menggunakan persamaan 2.25.

$$r = \frac{1}{1 + 0,31 \frac{\sqrt{(1,404)(3,9049)}}{12,491} - 0,09(1 - e^{-2(1,404)})}$$

$$r = 1,027$$

selanjutnya mencari koefisien ξ dengan menggunakan persamaan 2.27.

$$\xi = \tan^{-1} \left[\frac{(5)-(0,006)}{(1,404)(1,027)} \right]$$

$$\xi = 73,72^\circ$$

Hitung koefisien LR dengan menggunakan persamaan 2.29.

$$L_R = \frac{(5-0,006)}{\sin 74,29}$$

$$L_R = 5,187$$

Hitung koefisien x dengan menggunakan persamaan 2.30.

$$x = 36 - |7,22| \quad \text{untuk } |\phi| < 36^\circ$$

$$x = 28,78$$

Selanjutnya menghitung faktor reduksi (v) menggunakan persamaan 2.26.

$$v = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin 74,29} \left[31 \left(1 - e^{-\left(\frac{74,29}{1+28,78} \right)} \right) \frac{\sqrt{(5,187)(3,9049)}}{(12,491)^2} - 0,5 \right]}$$

$$v = 0,7662$$

Selanjutnya menghitung nilai redaman hujan (A) dengan menggunakan persamaan 2.31.

$$A = (3,9049)(5,187)(1,027)(0,7662)$$

$$A = 15,94 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas maka untuk nilai redaman hujan dengan curah hujan yang lain dapat dilihat pada tabel 4.8. Dari tabel 4.8 diketahui bahwa semakin besar curah hujan maka semakin besar pula redaman hujan yang dihasilkan, dimana untuk perhitungan redaman hujan menggunakan ITU-R Modifikasi dengan curah hujan tertinggi yaitu 80,2 mm/jam didapatkan nilai redaman hujan sebesar 15,94 dB.

Tabel 4.8 Perhitungan Redaman Hujan ITU-R Modifikasi Kanal Ku-Band.

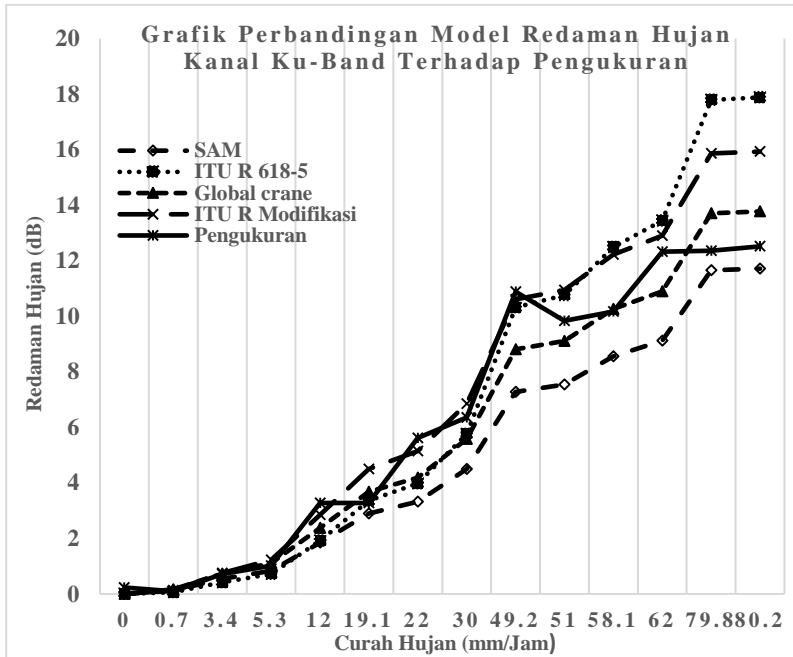
Curah Hujan (mm/jam)	0	0,7	3,4	5,3	12	19,1	22
Redaman Hujan (dB)	0	0,126	0,758	1,225	2,854	4,498	5,144
Curah Hujan (mm/jam)	30	49,2	51	58,1	62	79,8	80,2
Redaman Hujan (dB)	6,856	10,621	10,953	12,565	12,914	15,881	15,945

4.4 Perbandingan Model Redaman Hujan Kanal Ku-Band

Pada tabel 4.9 dapat dilihat bahwa curah hujan terbesar pada saat pengukuran yaitu 80,2 mm/jam dengan redaman hujan sebesar 12,51 dB dengan hasil perhitungan model yang paling mendekati yaitu model Global Crane dengan nilai 13,73 dB. Sedangkan pada kondisi cuaca cerah dengan curah hujan 0 mm/jam hasil pengukuran masih menunjukkan adanya redaman hujan walaupun nilainya sangat kecil yaitu sekitar 0,22 dB. Untuk kondisi curah hujan sedang dengan curah hujan 12 mm/jam hasil pengukuran menunjukkan terjadi redaman hujan sebesar 3,27 dB dengan hasil model perhitungan yang mendekati yaitu model ITU-R Modifikasi dengan nilai sebesar 2,85 dB.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Kanal Ku-Band.

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,7	3,4	5,3	12	19,1	22
	Redaman Hujan (dB)						
ITU-R P.618-5	0	0,06	0,415	0,711	1,915	3,355	3,976
Global Crane	0	0,158	0,725	1,104	2,381	3,674	4,19
SAM	0	0,104	0,517	0,811	1,844	2,902	3,331
ITU-R Modifikasi	0	0,126	0,758	1,225	2,854	4,498	5,144
Pengukuran	0,228	0,095	0,722	1,021	3,279	3,28	5,611
Curah Hujan (mm/jam)	30	49,2	51	58,1	62	79,8	80,2
	Redaman Hujan (dB)						
ITU-R P.618-5	5,76	10,313	10,751	12,487	13,444	17,774	17,86
Global Crane	5,585	8,811	9,107	12,487	10,891	13,711	13,773
SAM	4,509	7,307	7,568	8,594	9,157	11,715	11,773
ITU-R Modifikasi	6,856	10,621	10,953	12,231	12,914	15,881	15,945
Pengukuran	6,357	10,889	10,094	10,167	12,325	12,36	12,515



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Model Redaman Hujan Kanal Ku-Band.

Dari grafik yang terdapat pada gambar 4.6 dapat diketahui bahwa secara garis besar untuk curah hujan ringan (≤ 10 mm/jam) hasil pemodelan dan pengukuran terlihat dalam satu garis. Sedangkan ketika kondisi curah hujan sedang dan lebat (≥ 10 mm/jam) mulai terlihat perbedaan nilai redaman hujan.

Berdasarkan tabel 4.10 untuk kondisi cerah (0 mm/jam) tingkat error dari keseluruhan model yaitu 100 %. Pada saat kondisi curah hujan sedang berkisar antara 10 – 30 mm/jam merupakan error terbesar dengan rata – rata error untuk keseluruhan model di atas 30 %. Pada saat curah hujan antara 30 – 60 mm/jam didapati tingkat error yang kecil dengan tingkat error rata – rata berkisar di bawah 10% kecuali untuk model SAM. Sedangkan untuk curah hujan diatas 60 mm/jam mulai terjadi perbedaan nilai error yang cukup besar yaitu berada diatas diatas 20 % tetapi sebaliknya untuk model SAM terjadi penurunan tingkat error. Secara keseluruhan tingkat error terhadap pengukuran untuk model ITU-

R P.618-5 sebesar 30,1 %, untuk model Simple Attenuation Model (SAM) sebesar 29,2 %, untuk model Global Crane sebesar 24,3 % dan model ITU-R Modifikasi sebesar 22,4 %.

Tabel 4.10 Perbandingan antara Hasil Pengukuran dengan Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal Ku-Band.

Curah Hujan (mm/h)	Hasil pengukuran	ITU-R P.618-5 (dB)	Error (%)	SAM (dB)	Error (%)	Global Crane (dB)	Error (%)	ITU-R Modifikasi (dB)	Error (%)
0	0.228	0	100	0	100	0	100	0	100
0.7	0.095	0.06	36	0.11	22	0.16	71	0.12	33
3.4	0.722	0.41	43	0.53	25	0.8	11	0.75	5
5.3	1.021	0.71	30	0.83	19	1.24	22	1.22	20
12	3.279	1.91	42	1.84	44	2.77	16	2.85	13
19.1	3.28	3.35	2	2.89	12	4.32	32	4.49	37
22	5.61	3.97	29	3.32	41	4.94	12	5.13	8
30	6.357	5.75	9	4.49	29	6.59	4	6.84	8
49.2	10.88	10.31	5	7.27	33	10.2	6	10.6	3
51	10.09	10.75	7	7.53	25	10.5	5	10.9	8
58.1	10.16	12.48	23	8.55	16	11.8	16	12.2	20
62	12.32	13.44	9	9.11	26	12.4	1	12.8	5
79.8	12.36	17.78	44	11.6	6	15.2	24	15.8	28
80.2	12.51	17.88	43	11.7	12	15.3	23	15.9	27
			30.1		29.2		24.3		22.4

4.5 Data Pengukuran C-Band

Untuk lokasi pengukuran kedua yaitu kanal C – Band tetap dilaksanakan di daerah Juanda Surabaya dengan posisi stasiun bumi berada pada koordinat 7,22° LS dan 112,45°BT. Sedangkan satelit yang digunakan dalam pengukuran kedua yaitu satelit TELKOM 1 yang berada pada posisi 108°BT. Pengukuran kedua dilaksanakan pada Juni 2016 dengan jumlah total pengukuran sebanyak dua belas (12) kali pengukuran.

Pada tabel 4.11 ditampilkan data pengukuran untuk kanal C-Band. Untuk pengukuran dengan kondisi cuaca hujan dilakukan sebanyak sembilan (9) kali, dengan curah hujan terbesar pada pengukuran 14 dengan curah hujan sebesar 31,5 mm/jam dengan nilai kualitas (C/N) rata – rata sebesar 13,46 dB. Sedangkan pengukuran dengan kondisi cuaca cerah atau tidak ada hujan dilakukan sebanyak tiga (3) kali dengan rata – rata nilai kualitas (C/N) sebesar 14 dB.

Tabel 4.11 Data Pengukuran Kanal C-Band.

Pengukuran	Data Pengukuran			
	Curah Hujan (mm/jam)	C/N (dB)	Kekuatan Sinyal	Kualitas Sinyal
1	0	14	86%	87%
2	0.4	14	86%	87%
3	1	14	86%	87%
4	2.5	13.90805	85%	87%
5	0.1	14	86%	87%
6	0	14	86%	87%
7	19.1	13.65556	80%	87%
8	12.7	13.82353	80%	87%
9	5.5	13.88889	80%	87%
10	31.5	13.46341	80%	87%
11	1.4	13.95238	86%	87%
12	0	14	86%	87%

4.6 Analisis Data Pengukuran C-Band

Data pengukuran yang didapatkan pada tabel 4.11 dianalisa menggunakan perhitungan *link budget* untuk mendapatkan nilai dari redaman hujan dengan menggunakan parameter kualitas (C/N).

4.6.1 Perhitungan Redaman Hujan Data Pengukuran C-Band

Dengan menggunakan data dari spesifikasi satelit TELKOM 1 dan stasiun bumi penerima, analisa ini menggunakan asumsi data yang sudah ditentukan pada perhitungan dengan menggunakan parameter pada stasiun bumi penerima yang berlokasi di Surabaya. Adapun data parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 4.12.

Dengan menggunakan data parameter pada tabel 4.12 dan metode perhitungan link budget yang sama dengan perhitungan kanal Ku-Band didapatkan nilai parameter perhitungan untuk kanal C-Band yaitu EIRP satelit = 46 dBW, (G/T) stasiun bumi = 6,97 dB/°K, konstanta Boltzman = -228,6 dBW/Hz, redaman *free space loss* (FSL) = 194,71 dB, redaman awan (Aawan) = 0,0108 dB, redaman atmosfer (Aatmosfer) = 0,044 dB, *bandwidth* (B) = 3,6 Mhz dan margin sistem = 7,2421 dB. Sehingga dari data tersebut dapat dihitung nilai redaman hujan untuk pengukuran pada kanal C-Band.

Tabel 4.12 Data Parameter Perhitungan Link Budget C-Band.

Parameter	Nilai	Satuan
Satelit yang digunakan	TELKOM 1	
Posisi satelit	108	°BT
Frekuensi	3,62	GHz
EIRP satelit	46	dBW
Bandwidth	36	MHz
Lokasi stasiun bumi	7,22 112,72	°LS °BT
Diameter antenna stasiun bumi (D)	0,8	m
Efisiensi antenna (η)	60	%
Jari – jari bumi (R_e)	6378	Km
Rugi saluran transmisi penerima (L_{frx})	0,5	dB
Temperatur derau antenna stasiun bumi (T_A)	32	°K
Temperatur feeder (T_F)	290	°K
Temperatur derau input efektif stasiun bumi (T_R)	45	°K
Konstanta Boltzman (k)	-228,6	dB

Pada tabel 4.13 didapatkan hasil untuk pengukuran kanal C-Band nilai redaman hujan sangatlah kecil yaitu < 1 dB. Untuk curah hujan terbesar pada saat pengukuran redaman hujan yang terjadi yaitu hanya sekitar 0,53 dB, sedangkan untuk curah hujan < 1 mm/jam tidak terjadi redaman hujan.

Tabel 4.13 Redaman Hujan Pengukuran Kanal C-Band.

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,1	0,4	1	1,4
Redaman Hujan (dB)	0	0	0	0	0
Curah Hujan (mm/jam)	2,5	5,5	12,7	19,1	31,5
Redaman Hujan (dB)	0	0,111	0,176	0,344	0,536

4.7 Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal C-Band

Dalam perhitungan model redaman hujan pada kanal C-Band langkah dan persamaan untuk perhitungan sama dengan perhitungan pada kanal Ku-Band. Sebelum melakukan perhitungan diperlukan beberapa parameter untuk perhitungan, adapun parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Parameter Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal C-Band.

Parameter	Nilai	Satuan
Frekuensi	3,62	GHz
Sudut elevasi (θ)	79,85	°
Posisi lintang stasiun bumi (φ)	7,22	°
Tinggi stasiun bumi di atas permukaan laut (hs)	0,006	Km

4.7.1 Model ITU-R P.618-5

Dengan menggunakan langkah perhitungan yang sama untuk model ITU-R P.618-5 pada kanal Ku-Band didapatkan nilai redaman hujan berdasarkan pengukuran untuk kanal C-Band yang dapat dilihat pada tabel 4.15 dan gambar 4.8. Dari tabel 4.15 diketahui bahwa semakin besar curah hujan maka semakin besar pula redaman hujan yang dihasilkan, dimana untuk curah hujan tertinggi yaitu 31,5 mm/jam didapatkan nilai redaman hujan sebesar 0,0573 dB.

Tabel 4.15 Perhitungan Redaman Hujan ITU-R P.618-5 kanal C-Band.

Curah Hujan (mm/h)	0	0,1	0,4	1	1,4
Redaman Hujan (dB)	0	0.00017	0.00068	0.00173	0.00244
Curah Hujan (mm/h)	2,5	5,5	12,7	19,1	31,5
Redaman Hujan (dB)	0.0044	0.00982	0.02295	0.0368	0.053634

4.7.2 Model Global Crane

Dengan menggunakan langkah perhitungan yang sama untuk model Global Crane pada kanal Ku-Band didapatkan nilai redaman hujan dengan data curah hujan berdasarkan pengukuran untuk kanal C-Band yang dapat dilihat pada tabel 4.16. Dari tabel 4.16 diketahui untuk perhitungan redaman hujan menggunakan model Global Crane dengan curah hujan tertinggi yaitu 31,5 mm/jam didapatkan nilai redaman hujan sebesar 0,2189 dB. Nilai redaman hujan pada model Global Crane merupakan nilai tertinggi dibandingkan tiga (3) model lainnya.

Tabel 4.16 Perhitungan Redaman Hujan Global Crane kanal C-Band.

Curah Hujan(mm/jam)	0	0,1	0,4	1	1,4
Redaman Hujan (dB)	0	0,0007	0,0031	0,0077	0,0108
Curah Hujan (mm/jam)	2,5	5,5	12,7	19,1	31,5
Redaman Hujan (dB)	0,019	0,041	0,0919	0,1359	0,2189

4.7.3 Simple Attenuation Model (SAM)

Dengan menggunakan langkah perhitungan yang sama untuk model Simple Attenuation Model pada kanal Ku-Band didapatkan nilai redaman hujan dengan data curah hujan berdasarkan pengukuran untuk kanal C-Band yang dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Perhitungan Redaman Hujan SAM kanal C-Band.

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,1	0,4	1	1,4
Redaman Hujan (dB)	0	0,0004	0,0012	0,0026	0,0035
Curah Hujan (mm/jam)	2,5	5,5	12,7	19,1	31,5
Redaman Hujan (dB)	0,0057	0,0109	0,0216	0,03	0,0449

Dari tabel 4.17 diketahui untuk perhitungan redaman hujan menggunakan Simple Attenuation Model dengan curah hujan tertinggi yaitu 31,5 mm/jam didapatkan nilai redaman hujan sebesar 0,0449 dB. Nilai redaman hujan pada model ini merupakan nilai terendah dibandingkan tiga (3) model lainnya.

4.7.4 ITU-R Modifikasi

Dengan menggunakan langkah perhitungan yang sama untuk model ITU-R Modifikasi pada kanal Ku-Band didapatkan nilai redaman hujan dengan data curah hujan berdasarkan pengukuran untuk kanal C-Band yang dapat dilihat pada tabel 4.18. Dari tabel 4.18 diketahui untuk perhitungan redaman hujan menggunakan Model ITU-R Modifikasi dengan curah hujan tertinggi yaitu 31,5 mm/jam didapatkan nilai redaman hujan sebesar 0,0641 dB.

Tabel 4.18 Perhitungan Redaman Hujan ITU-R Modifikasi kanal C-Band.

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,1	0,4	1	1,4
Redaman Hujan (dB)	0	0,0004	0,0014	0,0034	0,0046
Curah Hujan (mm/jam)	2,5	5,5	12,7	19,1	31,5
Redaman Hujan (dB)	0,0078	0,0156	0,0315	0,0437	0,0641

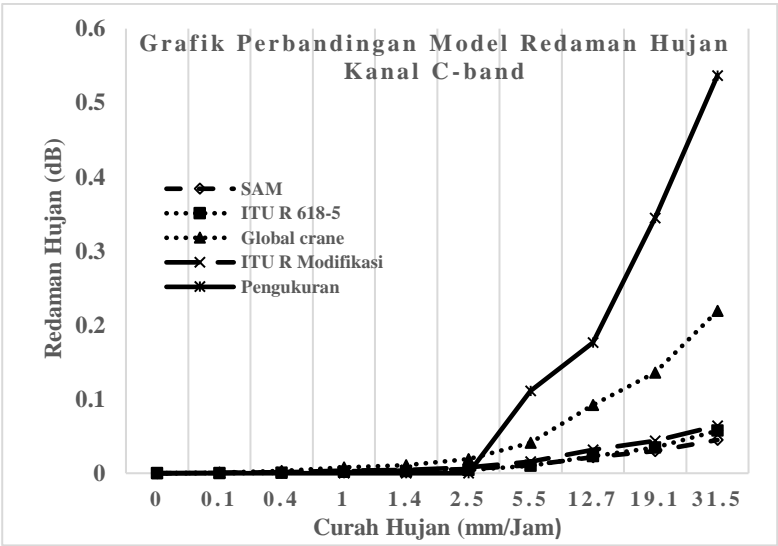
4.8 Perbandingan Model Redaman Hujan Kanal C-Band

Pada tabel 4.19 dapat dilihat bahwa curah hujan terbesar pada saat pengukuran yaitu 31,5 mm/jam dengan redaman hujan sebesar 0,5366 dB dengan hasil perhitungan model yang paling mendekati yaitu model Global Crane dengan nilai 0,2189 dB. Sedangkan pada saat

pengukuran dengan kondisi hujan ringan dan sedang ($< 10 \text{ mm/jam}$) tidak terjadi redaman hujan (0 dB). Redaman hujan pada kanal C-Band pada saat pengukuran baru terjadi pada kondisi hujan lebat dan sangat lebat ($> 10 \text{ mm/jam}$) tetapi itupun dengan nilai yang sangat kecil yaitu dibawah 1 dB, sehingga tidak begitu berpengaruh terhadap sistem komunikasi.

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Redaman Hujan Kanal C-Band.

Curah Hujan (mm/jam)	0	0,1	0,4	1	1,4
Redaman Hujan (dB)					
ITU-R P.618-5	0	0.00017	0.00068	0.00173	0.00244
Global Crane	0	0.00071	0.00306	0.0077	0.01075
SAM	0	0.00035	0.0012	0.00263	0.0035
ITU-R Modifikasi	0	0.00036	0.0014	0.00335	0.00459
Pengukuran	0	0	0	0	0
Curah Hujan (mm/jam)	2,5	5,5	12,7	19,1	31,5
Redaman Hujan (dB)					
ITU-R P.618-5	0.0044	0.00982	0.02295	0.03468	0.05734
Global Crane	0.01902	0.04101	0.09194	0.13591	0.21888
SAM	0.00569	0.01093	0.02162	0.03005	0.04485
ITU-R Modifikasi	0.0078	0.01564	0.03152	0.04366	0.06411
Pengukuran	0	0.11111	0.17647	0.34444	0.53659



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Model Redaman Hujan Kanal C-Band.

Pada tabel 4.20 dapat dilihat tingkat error dari masing – masing model redaman hujan terhadap pengukuran. Model perhitungan Global Crane merupakan model dengan tingkat error terkecil terhadap pengukuran pada kanal C-Band dengan persentase error sebesar 73,07 %. Selanjutnya Model ITU-R Modifikasi untuk daerah tropis dengan persentase error sebesar 83,34 %, model ITU-R P.618-5 dengan persentase error sebesar 85,74 % dan Simple Attenuation Model yang merupakan model dengan persentase error terbesar yaitu sebesar 86,08 %. Secara keseluruhan dalam komunikasi satelit menggunakan kanal C-Band redaman hujan masih terjadi, tetapi hal tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap sistem komunikasi dikarenakan nilai dari redaman hujan tersebut sangatlah kecil yaitu $< 1\text{ dB}$.

Tabel 4.20 Perbandingan antara Hasil Pengukuran dengan Perhitungan Model Redaman Hujan Kanal C-Band.

Curah Hujan (mm/h)	Hasil pengukuran	ITU-R P.618-5 (dB)	Error (%)	SAM (dB)	Error (%)
0	0	0	0	0	0
0.1	0	0.0001	100	0.0003	100
0.4	0	0.0006	100	0.001	100
1	0	0.0017	100	0.002	100
1.4	0	0.0024	100	0.003	100
2.5	0	0.0044	100	0.005	100
5.5	0.1111	0.0098	91	0.01	90
12.7	0.1764	0.0229	87	0.021	88
19.1	0.3444	0.0346	90	0.03	91
31.5	0.5365	0.057	89	0.044	92
			85.7		86.1
Curah Hujan (mm/h)	Hasil pengukuran	Global Crane (dB)	Error (%)	ITU-R Modifikasi (dB)	Error (%)
0	0	0	0	0	0
0.1	0	0.0007	100	0.0003	100
0.4	0	0.0030	100	0.0013	100
1	0	0.0077	100	0.00335	100
1.4	0	0.0107	100	0.0045	100
2.5	0	0.0190	100	0.0077	100
5.5	0.1111	0.0410	63	0.0156	86
12.7	0.1764	0.0919	48	0.0315	82
19.1	0.3444	0.1359	61	0.0436	87
31.5	0.5365	0.2188	59	0.0641	88
			73.1		84.3

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan analisis dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Dari hasil Analisa didapatkan bahwa metodologi pengukuran yang dilaksanakan merupakan metodologi pengukuran redaman hujan sesaat.
- b. Model pengukuran hujan sesaat tidak dapat dibandingkan dengan model redaman hujan statis.
- c. Hasil perhitungan model redaman hujan pada kanal Ku-band untuk curah hujan 80,2 mm/jam adalah sebagai berikut :
 - Model ITU-R P.618-5 : 17,86 dB
 - Model Global Crane : 13,77 dB
 - Model SAM : 11,77 dB
 - Model ITU-R Modifikasi : 15,94 dB
- d. Hasil perbandingan persentase error model redaman hujan terhadap pengukuran pada kanal Ku-Band adalah sebagai berikut :
 - Model ITU-R P.618-5 : 30,1 %
 - Model Global Crane : 29,2 %
 - Model SAM : 24,3 %
 - Model ITU-R Modifikasi : 22,4 %
- e. Model redaman hujan pengukuran untuk wilayah Surabaya pada kanal Ku-Band mendekati model ITU-R Modifikasi.
- f. Hasil perhitungan model redaman hujan pada kanal C-band untuk curah hujan 31,5 mm/jam adalah sebagai berikut :
 - Model ITU-R P.618-5 : 0,057 dB
 - Model Global Crane : 0,218 dB
 - Model SAM : 0,044 dB
 - Model ITU-R Modifikasi : 0,064 dB
- g. Hasil perbandingan persentase error model redaman hujan terhadap pengukuran pada kanal C-band adalah sebagai berikut:
 - Model ITU-R P.618-5 : 85,7 %
 - Model Global Crane : 73,1 %
 - Model SAM : 86,1 %

- Model ITU-R Modifikasi : 84,3 %
- h. Model redaman hujan pengukuran untuk wilayah Surabaya pada kanal C-Band mendekati model Global Crane.

5.2 Saran

- a. Adapun metodologi yang benar dan harus dilakukan dalam melakukan evaluasi model redaman hujan untuk mendapatkan model statistik yang paling tepat untuk wilayah Surabaya adalah sebagai berikut :
- 1) Lakukan pengukuran curah hujan (R) sesaat selama satu tahun, dalam hal ini pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan *rain gauge* milik Laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS.
 - 2) Lakukan pengukuran redaman hujan (A) sesaat selama satu tahun.
 - 3) Tentukan redaman hujan untuk persen waktu (A_p) tertentu, misalnya untuk $p = 0,01$ yang didapatkan dari hasil pengukuran redaman hujan (A) sesaat yang telah dilakukan pada langkah 2.
 - 4) Tentukan curah hujan untuk persen waktu (R_p) tertentu, misalnya untuk $p = 0,01$ yang didapatkan dari hasil pengukuran curah hujan (R) sesaat yang telah dilakukan pada langkah 1.
 - 5) Hitung redaman hujan untuk persen waktu (A_p) tertentu berdasarkan model yang akan di uji dengan menggunakan nilai curah hujan persen waktu (R_p) yang didapat dari hasil perhitungan pada langkah 4.
 - 6) Bandingkan nilai redaman hujan untuk persen waktu (A_p) tertentu yang di dapat dari langkah 3 dan langkah 5 untuk beberapa nilai persen waktu (p).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ha, Tri T, "Digital Satellite Communication", McGraw Hill, 1990.
- [2] Recommendation ITU-R, "Rain Attenuation Model", P series, International Telecommunication Union, 1997.
- [3] Pritchard Wilbur, Suyderhoud G Henri, Nelson A Robert, "Satellite Communication Systems Engineering", Pretice Hall Inc., New Jersey, 1993.
- [4] Yeo X J, Lee H Y, Ong T J "Modified ITU-R Slant Path Rain Attenuation Model for the Tropical Region", Singapore, Nanyang Technology University, 2009.
- [5] <https://www.satbeams.com/satellites?norad=25880>
- [6] <https://www.satbeams.com/satellites?norad=38331>
- [7] Recommendation ITU-R P.840-2, "Attenuation Due To Clouds And Fog", P series, Interatioal Telecommunication Union, 1997.
- [8] Recommendation ITU-R P.676-3, "Attenuation By Atmospheric Gases", P series, Interatioal Telecommunication Union, 1997.
- [9] <https://www.lyngsat.com>
- [10] Maral, G, "Satellite Communication Systems", John Wiley & Sons, New York, 1996.
- [11] Crane, R.K. "Prediction of Atenuation by Rain, IEEE Transactions on Communications", Vol.Com-28, No.9.1980.
- [12] Parlindungan, "Analisis Tahapan Optimalisasi Link VSAT Metode Akses SCPC Studi Kasus Telkomsel MSC Jayapura – BSC Merauke", Universitas Indonesia, 2008.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Lampiran A Proposal Tugas Akhir

Jurusan Teknik Elektro – FTI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Ervin Nurdiansyah
Nomor Pokok : 2214105001
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T.
Judul Tugas Akhir :

10 FEB 2016

Analisa Redaman Hujan Pada Frekuensi C-Band dan Ku-Band Untuk Komunikasi VSAT TV Pada Daerah Tropis.

(Rain Attenuation of C-Band and Ku-band applied on VSAT TV Communication Analysis in Tropical Areas)

Uraian Tugas Akhir :

Seiring dengan pesatnya perkembangan layanan komunikasi khususnya dalam bidang komunikasi satelit, penggunaan satelit untuk berbagai macam komunikasi semakin berkembang dewasa ini salah satunya yaitu teknologi VSAT untuk keperluan TV berbayar. Teknologi VSAT digunakan oleh perusahaan TV berbayar sebagai *backbone* dari jaringan yang mereka tawarkan kepada konsumen. Penggunaan VSAT sebagai alat komunikasi memiliki banyak sekali keuntungan antara lain kemudahan dalam hal instalasi, biaya yang murah dan kemudahan dalam pemeliharaan. Di samping semua keunggulan yang dimiliki oleh VSAT, teknologi VSAT yang menggunakan frekuensi C-Band dan Ku-Band ini memiliki beberapa kekurangan diantaranya yaitu masalah propagasi terutama propagasi yang disebabkan oleh redaman hujan. Dalam Tugas Akhir ini penulis mengkaji mengenai masalah propagasi yang terjadi pada komunikasi satelit terutama propagasi yang disebabkan oleh redaman hujan pada gelombang C-Band dan Ku-band yang banyak digunakan untuk komunikasi satelit VSAT pada tv berbayar dengan karakteristik iklim Indonesia. Di dalam tugas akhir ini penulis akan melakukan analisa redaman hujan menggunakan beberapa model prediksi redaman hujan diantaranya model ITU-R P 618-5, model Global Crane, Model SAM, dan model ITU-R modifikasi untuk daerah tropis.

Kata Kunci : redaman hujan, VSAT, C-Band, Ku-Band.

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, M.T.

NIP. 196109031989031001

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua,



Dr. Eng. Ardovono Privadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,

Dr. Ir. Endrovono, DEA.
NIP. 196504041991021001

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Lampiran B.1 Nilai Perhitungan Model Redaman Hujan

Model Redaman Hujan ITU-R P.618-5 Kanal Ku-band

Curah Hujan (mm/h)	0	0.7	3.4	5.3	12	19.1	22
L_0	35	34.63	33.26	32.32	29.23	26.28	25.16
r	0.961	0.961	0.96	0.958	0.954	0.949	0.947
γ_R (dB/Km)	0	0.012	0.083	0.143	0.387	0.681	0.809
A_{hujan} (dB)	0	0.06079	0.41528	0.71191	1.91588	3.35545	3.97622
Curah Hujan (mm/h)	30	49.2	51	58.1	62	79.8	80.2
L_0	22.31	16.73	16.28	14.64	13.80	10.57	10.51
r	0.941	0.923	0.921	0.913	0.908	0.884	0.883
γ_R (dB/Km)	1.180	2.154	2.251	2.638	2.855	3.8813	3.905
A_{hujan} (dB)	5.76041	10.3128	10.7509	12.4872	13.4435	17.7741	17.8699

Model Redaman Hujan ITU-R P.618-5 Kanal C-Band

Curah Hujan (mm/h)	0	0.1	0.4	1	1.4	2.5	5.5	12.7	19.1	31.5
L_0	35	34.9475	34.7906	34.4789	34.2727	33.7118	32.2284	28.9291	26.281	21.8205
r	0.97509	0.97506	0.97495	0.97472	0.97458	0.97416	0.97301	0.97002	0.9671	0.96064
γ_R (dB/Km)	0	3.4×10^{-5}	0.00014	0.00035	0.00049	0.00089	0.00199	0.00466	0.00707	0.01177
A_{hujan} (dB)	0	0.00017	0.00068	0.00173	0.00244	0.0044	0.00982	0.02295	0.0368	0.053634

Model Redaman Hujan Global Crane Kanal Ku-Band

Curah Hujan (mm/h)	0	0.7	3.4	5.3	12	19.1	22
D₀	0	4.014	3.065	2.799	2.309	2.030	1.945
B	0	2.443	1.868	1.732	1.507	1.393	1.359
C	0	0.036	-0.010	-0.024	-0.048	-0.062	-0.066
U	0	0.259	0.193	0.172	0.129	0.100	0.091
A_{hujan} (dB)	0	0.158	0.725	1.104	2.381	3.674	4.190
Curah Hujan (mm/h)	30	49.2	51	58.1	62	79.8	80.2
D₀	1.75	1.462	1.440	1.362	1.323	1.172	1.169
B	1.29	1.186	1.178	1.152	1.140	1.092	1.091
C	-0.076	-0.090	-0.092	-0.095	-0.097	-0.105	-0.105
U	0.068	0.025	0.022	0.008	0.001	-0.03	-0.030
A_{hujan} (dB)	5.585	8.81175	9.10717	10.2627	10.8912	13.7108	13.7733

Model Redaman Hujan Global Crane Kanal C-Band

Curah Hujan (mm/h)	0	0.1	0.4	1	1.4	2.5	5.5	12.7	19.1	31.5
D₀	0	5.18155	4.34977	3.8	3.59812	3.25023	2.77715	2.27504	2.03019	1.73001
B	0	3.40195	2.68768	2.3	2.17213	1.96824	1.72134	1.49307	1.393	1.27943
C	0	0.09508	0.05349	0.026	0.01591	-0.0015	-0.0251	-0.0502	-0.0625	-0.0775
U	0	0.33137	0.28078	0.24519	0.23149	0.20685	0.17042	0.12594	0.10078	0.06493
A_{hujan} (dB)	0	0.00071	0.00306	0.0077	0.01075	0.01902	0.04101	0.09194	0.13591	0.21888

Model Redaman Hujan Simple Attenuation Model (SAM) Kanal Ku-Band

Curah Hujan (mm/h)	0	0.7	3.4	5.3	12	19.1	22
R(l)	0	1.09974	4.08385	5.90357	11.634	17.1117	19.2421
γ (dB/Km)	0	0.02113	0.10427	0.16327	0.37274	0.59606	0.68754
A_{hujan} (dB)	0	0.11612	0.53996	0.83163	1.84212	2.8961	3.3234
Curah Hujan (mm/h)	30	49.2	51	58.1	62	79.8	80.2
R(l)	24.8926	37.5333	38.6697	43.0885	45.4761	56.0756	56.3089
γ (dB/Km)	0.9405	1.55014	1.60743	1.83362	1.95799	2.52655	2.53934
A_{hujan} (dB)	4.50951	7.307734	7.56707	8.594675	9.1577	11.71566	11.7735

Model Redaman Hujan Simple Attenuation Model (SAM) Kanal C-Band

Curah Hujan (mm/h)	0	0.1	0.4	1	1.4	2.5	5.5	12.7	19.1	31.5
R(l)	0	0.32799	0.91756	1.81106	2.32472	3.57463	6.417	11.9407	16.1639	23.4304
γ (dB/Km)	0	0.00011	0.00032	0.00064	0.00083	0.00128	0.00233	0.00438	0.00596	0.0087
A_{hujan} (dB)	0	0.00035	0.0012	0.00263	0.0035	0.00569	0.01093	0.02162	0.03005	0.04485

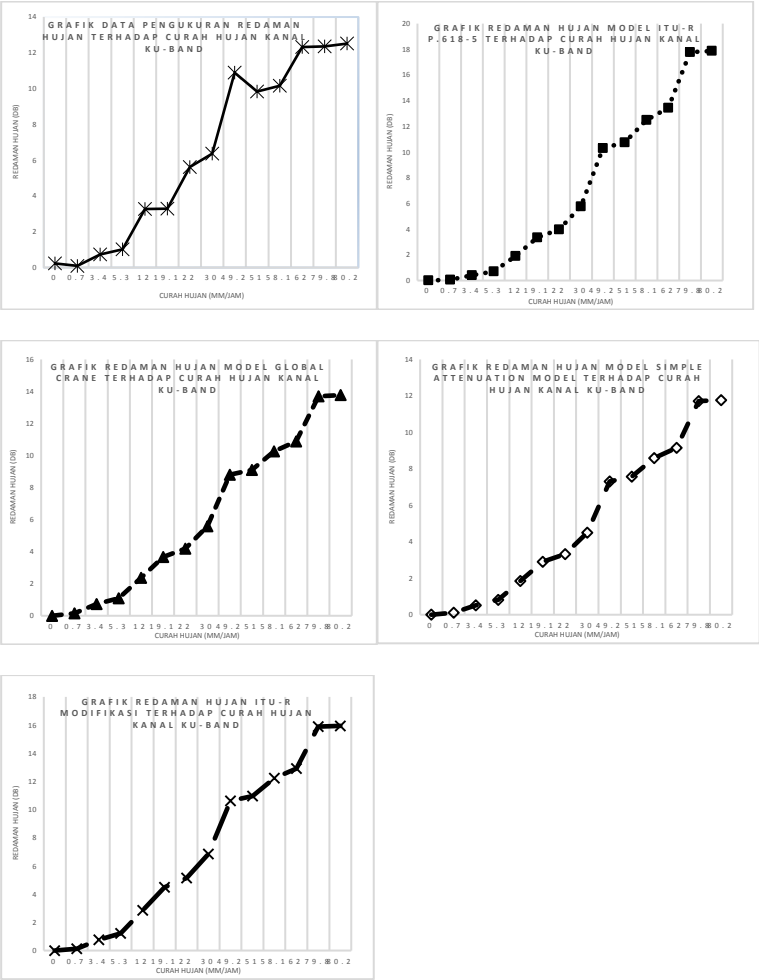
Model Redaman Hujan ITU-R Modifikasi untuk Daerah Tropis Kanal Ku-band

Curah Hujan (mm/h)	0	0.7	3.4	5.3	12	19.1	22
v	2	1.8349183	1.6190013	1.528701	1.3272526	1.1958003	1.1541237
r	1.0923926	1.0885303	1.0823473	1.0792699	1.0709834	1.0641676	1.061704
γ_R (dB/Km)	0	0.0121937	0.0834302	0.1431919	0.3870503	0.6813669	0.8092441
A_{hujan} (dB)	0	0.1263499	0.7584372	1.225614	2.8542125	4.4981332	5.1442013
Curah Hujan (mm/h)	30	49.2	51	58.1	62	79.8	80.2
v	1.060937	0.910764	0.8999315	0.8608547	0.8512687	0.7677237	0.7662853
r	1.0555457	1.0431889	1.0421514	1.0382108	1.0371937	1.0273581	1.0271718
γ_R (dB/Km)	1.1802684	2.1547791	2.2510804	2.6379657	2.7433048	3.8812958	3.9049816
A_{hujan} (dB)	6.8569346	10.620725	10.952516	12.231145	12.565599	15.881304	15.945391

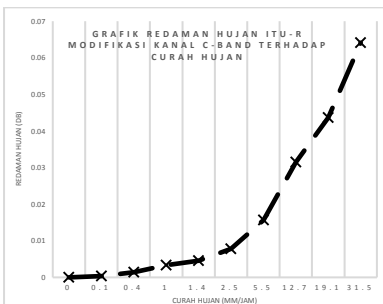
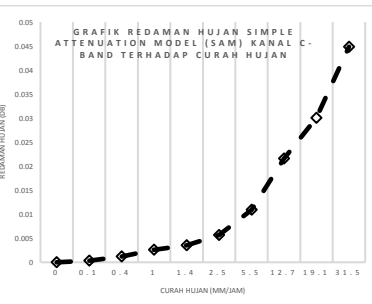
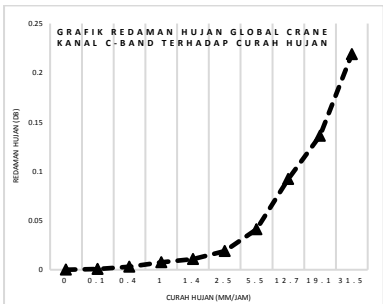
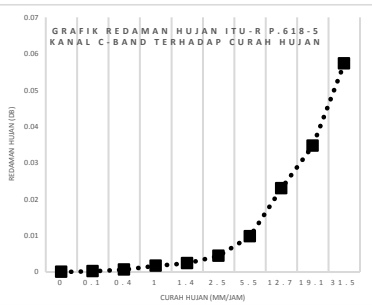
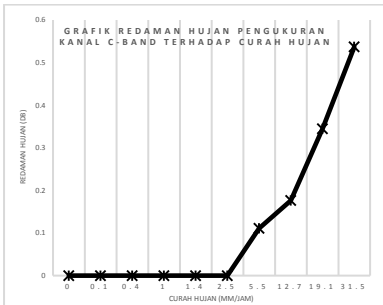
Model Redaman Hujan ITU-R Modifikasi untuk Daerah Tropis Kanal C-Band

Curah Hujan (mm/h)	0	0.1	0.4	1	1.4	2.5	5.5	12.7	19.1	31.5
v	2	1.892017	1.792728	1.688669	1.640927	1.545610	1.389617	1.195707	1.094077	0.966979
r	1.08101	1.08046	1.07990	1.07924	1.07891	1.07820	1.07681	1.07459	1.07312	1.07085
γ_R (dB/Km)	0	3.3×10^{-5}	0.00013	0.00035	0.00049	0.00089	0.00198	0.00466	0.00706	0.01176
A_{hujan} (dB)	0	0.000348	0.00135	0.00323	0.00463	0.00783	0.01569	0.03040	0.04371	0.06418

Lampiran B.2 Grafik Redaman Hujan Kanal Ku-Band.



Lampiran B.3 Grafik Redaman Hujan Kanal C-Band.



Lampiran C Koefisien Regresi ITU-R P.383

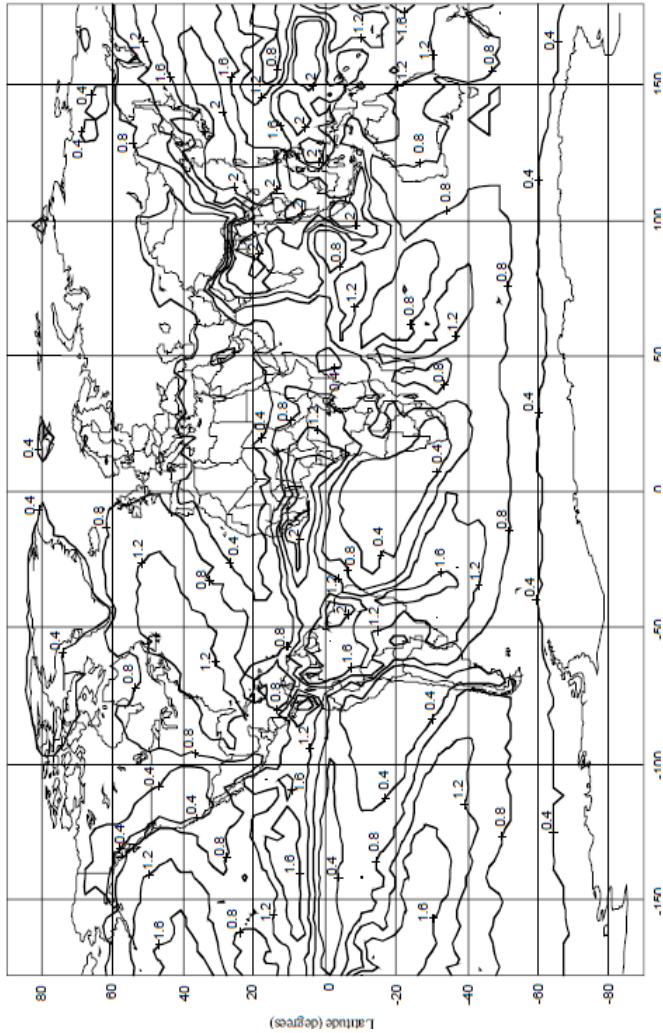
Frequency (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.9122	0.8801
1.5	0.0000868	0.0000784	0.9341	0.8905
2	0.0001543	0.0001388	0.9629	0.9230
2.5	0.0002416	0.0002169	0.9873	0.9594
3	0.0003504	0.0003145	1.0185	0.9927
4	0.0006479	0.0005807	1.1212	1.0749
5	0.001103	0.0009829	1.2338	1.1805
6	0.001813	0.001603	1.3068	1.2662
7	0.002915	0.002560	1.3334	1.3086
8	0.004567	0.003996	1.3275	1.3129
9	0.006916	0.006056	1.3044	1.2937
10	0.01006	0.008853	1.2747	1.2636
12	0.01882	0.01680	1.2168	1.1994
15	0.03689	0.03362	1.1549	1.1275
20	0.07504	0.06898	1.0995	1.0663
25	0.1237	0.1125	1.0604	1.0308
30	0.1864	0.1673	1.0202	0.9974
35	0.2632	0.2341	0.9789	0.9630
40	0.3504	0.3104	0.9394	0.9293
45	0.4426	0.3922	0.9040	0.8981
50	0.5346	0.4755	0.8735	0.8705
60	0.7039	0.6347	0.8266	0.8263
70	0.8440	0.7735	0.7943	0.7948
80	0.9552	0.8888	0.7719	0.7723
90	1.0432	0.9832	0.7557	0.7558
100	1.1142	1.0603	0.7434	0.7434
120	1.2218	1.1766	0.7255	0.7257
150	1.3293	1.2886	0.7080	0.7091
200	1.4126	1.3764	0.6930	0.6948
300	1.3737	1.3665	0.6862	0.6869
400	1.3163	1.3059	0.6840	0.6849

Lampiran D Koefisien Faktor a(f) dan b(f) Model Global Crane

Frekuensi (GHz)	Multiplier a(f)	Exponent B(f)
1	0.00015	0.95
4	0.00080	1.17
5	0.000138	1.24
6	0.00250	1.28
7.5	0.00482	1.25
10	0.0125	1.18
12.5	0.0228	1.145
15	0.0357	1.12
17.5	0.0524	1.105
20	0.0699	1.10
25	0.113	1.09
30	0.170	1.075
35	0.242	1.04
40	0.325	0.99
50	0.485	0.90
60	0.650	0.84
70	0.780	0.79
80	0.875	0.753
90	0.935	0.750
100	0.965	0.715

Lampiran E Total Columnar Content of Liquid Water

FIGURE 5
Normalized total columnar content of cloud liquid water (kg/m^2) exceeded for 99% of the year



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RIWAYAT HIDUP



Ervin Nurdiansyah merupakan anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Sardi dan Siti Zulaikah. Penulis lahir di Bandung pada tanggal 11 Juli 1988. SDN Angkasa VII Lanud Sulaiman adalah tempat penulis mengenyam pendidikan sekolah dasar. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SLTPN 1 Margahayu, Bandung. Setelah lulus dari jenjang sekolah menengah pertama, penulis melanjutkan jenjang pendidikan menengah atas di SMAN 4 Bandung. Pada tahun 2006, setelah lulus sekolah menengah atas penulis mengikuti seleksi masuk perguruan tinggi negeri dan diterima di jurusan Teknik Geologi Universitas Padjadjaran. Pada tahun 2007 penulis diterima sebagai Taruna Akademi Angkatan Udara dan mengikuti pendidikan militer selama empat tahun. Setelah lulus dari Akademi Angkatan Udara pada tahun 2011 penulis berdinasi di Sathar 42 Depohar 40 Bandung. Kemudian pada tahun 2014 penulis mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan S1 Teknik Elektro dengan prodi Telekomunikasi Multimedia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

